Guillaume LESQUIR
1ère année
Projet n°1
Génie Industriel
Promotion 2000-2003

Maître d'apprentissage
M. Christophe POTIER

Tutrice pédagogique
Mme Corinne COURTOIS

Fiabilisation d'une rectifieuse CNC MI 4CNC 100

MOUTON

ITII Lyon
INSTITUT DES TECHNIQUES D'INGÉNIEUR DE L'INDUSTRIE





CESI

Projet n° 1
Année 2000-2001

Remerciements

Je tiens à remercier M Jean Pierre Ferret, PDG du groupe Agir Technologies, et M Jean Marie Troussard, Directeur Financier du groupe, pour m'avoir fait confiance dans la réalisation de ce projet. Je remercie également mon maître d'apprentissage, M Christophe Potier, Directeur Adjoint de Mouton pour ses conseils et le temps qu'il m'a accordé durant cette première année de formation. Je remercie également toute l'équipe machines – outils de la société qui m'a beaucoup aidé durant la réalisation de mon projet, en particulier M Claude Viret, responsable du secteur. Je remercie enfin l'ensemble du personnel de l'entreprise qui m'a permis de prendre rapidement mes marques au sein de la société et qui m'a fait partager son savoir au sujet de la rectification et de l'utilisation de la machine.

Synthèse du rapport

Le projet qui m'a été confié à mon arrivée dans la société Mouton consistait à fiabiliser une rectifieuse cylindrique d'intérieur baptisée MI 4CNC 100. Ce projet avait été lancé en 1998 par le groupe Agir Technologies auquel Mouton appartient depuis 1990. Une équipe avait été mise en place et un budget attribué pour l'aboutissement de ce projet. L'équipe a peu à peu quitté l'entreprise, ce qui a poussé Mouton à embaucher un apprenti ingénieur.

La rectifieuse MI 4CNC 100 est composée de quatre axes numérisés :

- 1 axe de déplacement linéaire de la pièce
- 1 axe de déplacement linéaire de l'outil
- 1 axe de déplacement angulaire de l'outil
- 1 axe de déplacement linéaire pour le mouvement de va et vient.

C'est une machine pilotée par une commande numérique Ge Fanuc et travaillant sous arrosage. Ces caractéristiques principales sont justifiées par le fait qu'elle est principalement destinée à l'usinage de filières de tréfilage rondes. Les performances attendues sont :

- précision d'usinage inférieure à 0.01 mm au diamètre
- répétitivité des cotes inférieure à 0.01 mm
- aptitude à réaliser une filière en une seule prise de pièce.

J'ai d'abord débuté mon projet par une phase d'état des lieux qui m'a permis de prendre connaissance avec le domaine de la rectification et avec la machine. J'ai également recensé les documents disponibles à mon auto – formation à l'usinage et à l'utilisation de la commande numérique Fanuc. Ensuite, l'évaluation des capacités du prototype m'a permis de voir que celui – ci ne répondait pas au cahier des charges initial et que d'importantes modifications concernant la mesure des déplacements, l'axe de va et vient et l'usure des outils s'imposaient. Je me suis donc chargé de rédiger les cahiers des charges concernant le matériel que nous souhaitions changer ou rajouter sur la machine et j'ai pris contact avec les fournisseurs susceptibles de pouvoir répondre à nos besoins. La création, tout au long du projet, de fiches de suivi des essais réalisés et d'évaluation du matériel proposé, accouplé à un système de notation, m'a permis de faire des tableaux d'aide à la prise de décision. Ceux – ci ont été présentés au comité de direction lors de la clôture des étapes clefs dans la réalisation du projet.

Aujourd'hui, et principalement à cause de délais très longs sur le matériel commandé pour les modifications, le projet n'est pas terminé. Il reste à mettre en place les composants nécessaires à l'amélioration du prototype et faire les tests des capacités réelles de la machine avant d'envisager sa mise en production.

SYNTHESIS

When I arrived in the Mouton company in July 2000, I was charged to control the capacities of the MI 4CNC 100 internal grinding machine tool. This project began in the company in 1998 and a team plus a budget were attributed to the project. This team is no more in the company and Mouton, with the agreement of the Agir Technologies group, employed a trainee engineer.

The internal grinding machine tool designed by Mouton is composed of for numerical axes :

- one longitudinal spindle axis
- one traverse chuck axis
- one rotating spindle axis
- one reciprocating spindle axis.

It is composed of a Ge Fanuc computerized numerical control and a spraying station. The main characteristics of the machine are :

- diameter accuracy below 0.01 mm
- repetitive quotation below 0.01 mm
- dies realised in only one step.

At the beginning of my project I got to know the grinding activity and the machine. After reading leaflets about the project I began the evaluation of the machine capacities. The results were so bad that the company decided to begin a phase of prototype modifications. These modifications concerned the reciprocating axis and the measurement of the linear and rotative movements. I wrote our technical demands to send them to potential suppliers. During the realisation of the project, I designed some slips with specific notation in order to make a decision to put the machine in the Mouton workshop.

Today, the project is not operating yet, but all the necessary steps to put the grinding machine in the Mouton workshop are ready in order to test the capacities of the new prototype.







SOMMAIRE








CESI


MOUTON


ITII

SOMMAIRE DES ANNEXES

Introduction

Après avoir passé une année en école d'ingénieur traditionnelle, j'ai décidé d'arrêter cette formation et de m'orienter vers l'alternance. En effet, devenir ingénieur signifie aussi, pour moi, connaître l'entreprise et son fonctionnement. L'alternance constitue une très bonne voie pour apprendre la fonction d'ingénieur tout en découvrant une première expérience professionnelle enrichissante.
J'ai choisi de travailler dans l'entreprise Mouton, d'une part parce qu'elle faisait partie de celles intéressées par ma candidature, et d'autre part parce qu'elle me proposait une place dans son secteur machines – outils. En effet, je suis particulièrement intéressé par le domaine de la conception et réalisation de machines – outils spécifiques ou non. Mon stage de DUT, durant lequel j'avais participé à la conception d'une machine spéciale, m'avais déjà orienté dans cette direction et donné un aperçu de ce secteur d'activité.
« La machine » est un domaine dans lequel il est possible d'aborder une multitude de points techniques tels la mécanique, l'électronique, l'usinage, mais également des points plus organisationnels ou liés à la conduite de projet comme la planification, la qualité, le management d'équipe. Durant ma première année de formation, je n'ai pas abordé tous ces points, mais il me semble avoir progressé et acquis de nombreuses connaissances dans ceux auxquels j'ai participé.
Dans le rapport qui suit, je vais traiter la réalisation de mon premier projet qui a consisté à fiabiliser un prototype de rectifieuse cylindrique d'intérieur à commandes numériques, baptisé MI 4CNC 100. Je commencerai par présenter de manière succincte mais précise la société Mouton ainsi que le groupe auquel elle appartient. J'aborderai ensuite de manière plus complète la réalisation de mon projet. Toutefois, il est important de savoir qu'à ce jour, et ceci pour diverses raisons, le projet n'est pas terminé.

(Important : afin de faciliter la lecture de ce rapport, utilisez l'annexe 13 et laissez la ouverte)

1 Généralités sur l'entreprise

- Société anonyme au capital de 2 614 100 Francs (398 517 €)
- Appartient à la convention de la métallurgie
- A pour objet :
  - la fabrication, la transformation, la rénovation, l'achat et la vente de toutes pièces en métaux ferreux, non ferreux ou frittés
  - l'activité de diamantaire, filièriste à façon
  - la fabrication, l'entretien et le négoce d'outillages et de toutes machines destinées à l'industrie.
- Possède deux sites de production :
  - le premier à Saint Maurice de Beynost (dans le département de l'Ain)
  - le second à Châlon en Champagne (dans le département de la Marne).
- Embauche une cinquantaine de personnes :
  - 40 à Saint Maurice de Beynost
  - 10 à Châlon en Champagne.

2 Eléments historiques sur l'entreprise

1934 : Monsieur Mouton, spécialiste de la taille de pierres, et plus précisément du diamant, crée sa société de fabrication des filières en carbure de tungstène.

1940 : L'entreprise se consacre à la fabrication des filières en carbure de tungstène en sous-traitance pour l'entreprise Tunsgto. Les enfants, Paul et Maurice, commencent à travailler dans l'entreprise.

1957 : Les deux frères héritent de la société.

1959 : Les premiers embauchés arrivent dans la société.

1975 : L'entreprise se lance, par le biais du rachat de la société Pivot qui était à l'époque un petit fabricant de machines – outils, dans la fabrication de machines – outils spécialisées dans l'usinage du carbure de tungstène.

1982 : L'entreprise emploie 82 personnes.

1990 : La société est vendue au groupe Agir Technologies et c'est Monsieur Jean-Pierre Ferret, actuel PDG du groupe, qui en fait l'acquisition par le biais de la société Rivom.





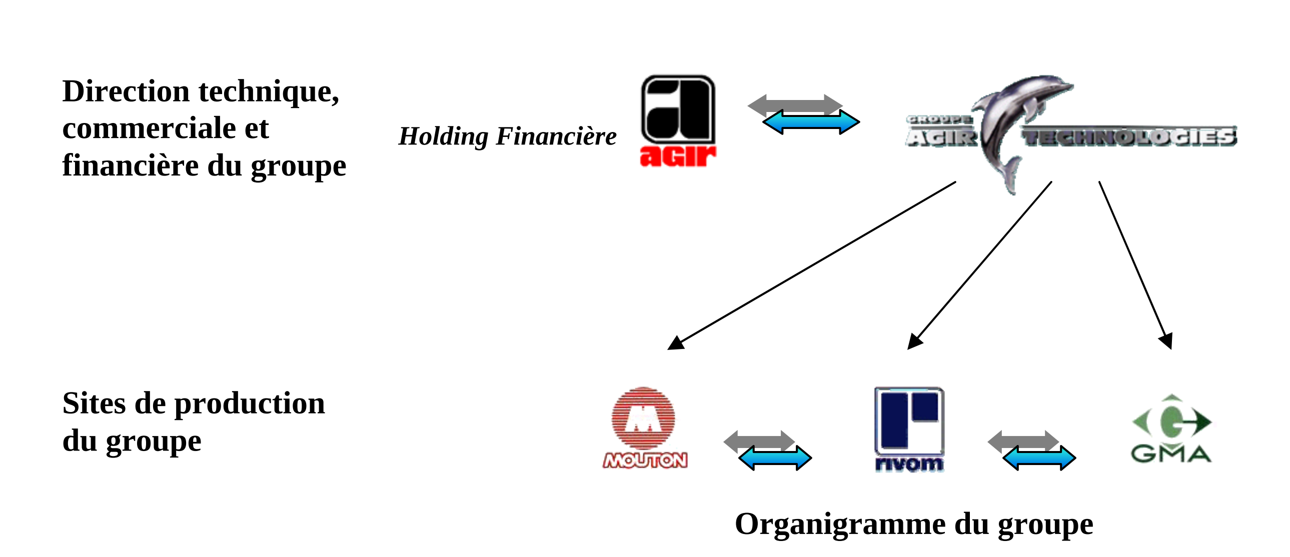


3 Présentation du groupe Agir Technologies

Depuis le 9 Mars 1990, la société Mouton appartient au groupe Agir Technologies. Ce groupe embauche actuellement 150 personnes réparties sur 3 principales entreprises :

- Rivom, basée à Dijon dans le département de la Côte d'or, embauche 57 personnes et est spécialisée dans l'outillage en carbure de tungstène.
- GMA, basée à Dijon, embauche 3 personnes et est spécialisée dans la fabrication de tapis transporteurs métalliques et de convoyeurs. GMA est rattachée à Rivom.
- Mouton.

Le groupe Agir Technologies est mondialement connu dans le domaine de l'outillage en carbure de tungstène puisqu'il a réussi à s'implanter en Amérique du Sud, en Europe, en Afrique et en Asie. Le groupe est aujourd'hui numéro 1 mondial pour la gamme d'outillage en carbure de tungstène proposée.



Organigramme du groupe

4 La gamme des produits Mouton

L'entreprise Mouton possède deux secteurs d'activités bien distincts. En effet, elle est spécialisée dans l'outillage en carbure de tungstène et dans la fabrication de machines outils destinées à l'usinage des outillages.

4.1 L'outillage en carbure de tungstène

On peut trouver dans l'entreprise cinq grandes familles d'outils en carbure de tungstène :

- les filières de tréfilage rondes destinées à la fabrication du fil et du câble
- les filières de tréfilage et d'étirage de formes, destinées à la fabrication de câbles spéciaux (câbles carrés, en forme de Z…)
- l'outillage d'extrusion des câbles électriques
- les matrices et poinçons de frappe (pour la réalisation de pièces sur les presses)
- l'outillage de compression principalement destiné à la fabrication de pièces frittées.



Filières de forme



Fil rasé

4.2 Les machines outils

L'entreprise possède une gamme de rectifieuses cylindriques d'intérieur, de tourets de polissage et de machines de rasage. Cette gamme a fait ses preuves aux quatre coins du monde. L'entreprise développe également deux nouvelles machines, une automatique et une seconde à commandes numériques.

4.2.1 Les machines traditionnelles

- 1 rectifieuse d'intérieur MI 410
- 1 rectifieuse universelle MU
- 1 rectifieuse MI 210
- 1 touret de polissage
- 1 machine de rasage (le rasage consiste à supprimer, par un faible enlèvement de matière, l'enveloppe oxydée des fils ou câbles)

4.2.2 Les machines en cours de développement

- 1 rectifieuse cylindrique d'intérieur avec quatre axes numérisés (MI 4CNC 100)
- 1 rectifieuse cylindrique d'intérieur automatique destinée à l'usinage des filières de petits diamètres (entre 4 et 0.1 mm) (R3)

5 L'entreprise en quelques chiffres

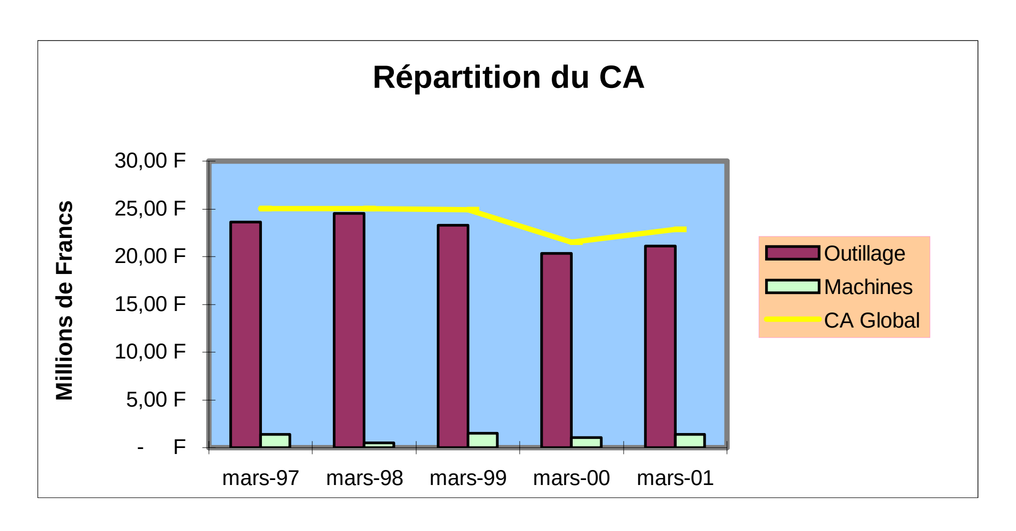
Depuis plusieurs années, l'entreprise réalise un chiffre d'affaires compris entre 20 et 25 millions de francs (entre 3 et 3.8 millions d'Euros) dont 15 % sont obtenus à l'exportation. Ce chiffre d'affaires est réalisé à 95 % par la fabrication des outillages en carbure de tungstène puisque le secteur machines est en plein développement.

Années	CA Global	CA France	CA Export
mars-97	25 052 451,00 F	20 053 916,00 F	4 998 535,00 F
mars-98	25 000 490,00 F	20 599 068,00 F	4 401 422,00 F
mars-99	24 906 106,00 F	20 882 623,00 F	4 023 483,00 F
mars-00	21 481 420,00 F	17 675 799,00 F	3 805 621,00 F
mars-01	22 836 606,00 F	16 814 000,00 F	6 022 606,00 F

Tableau de répartition du chiffre d'affaires

Années	CA Outillage	CA Machines
mars-97	23 654 451,00 F	1 398 000,00 F
mars-98	24 497 490,00 F	503 000,00 F
mars-99	23 315 000,00 F	1 507 000,00 F
mars-00	20 320 420,00 F	1 082 000,00 F
mars-01	21 100 000,00 F	1 415 000,00 F

Tableau du CA outillage et machines outils



Graphique d'évolution du CA

Le chiffre d'affaires de l'entreprise a connu une baisse à la fin de l'exercice 1999 puisque trois clients importants sont partis se servir à l'étranger en raison des prix plus faibles que ceux pratiqués en France, et plus particulièrement par la société Mouton. Cette baisse a conduit l'entreprise à procéder à une restructuration par le regroupement et la diminution des frais de fonctionnement. Elle a ainsi pu se remettre rapidement de sa crise passagère et annoncer un retour aux bénéfices à la fin de l'exercice 2000.

(Nota : l'entreprise Mouton clôture son exercice au 31 Mars de l'année suivante)
(exercice 2000 clôturé au 31 Mars 2001)

Conclusion

L'entreprise Mouton, qui appartient au Groupe Agir Technologies, est connue mondialement pour ses outils en carbure de tungstène, mais aussi pour les machines qu'elle réalise, principalement des rectifieuses, et qu'elle commercialise sur les cinq continents. Avec un chiffre d'affaires compris entre 20 et 25 millions de francs (entre 3 et 3.8 millions d'Euros), Mouton est une entreprise dynamique qui sait faire face de manière efficace aux aléas de l'économie et de la concurrence. De nombreux projets en cours, ainsi que sa volonté de développer son secteur machines – outils, en font une entreprise innovante. C'est d'ailleurs un de ces projets qui a fait l'objet de ma première année de formation.

Introduction

Le projet sur lequel j'ai travaillé durant la première année de ma formation d'ingénieur consistait à fiabiliser et mettre en production une rectifieuse cylindrique d'intérieur à commandes numériques, désignée MI 4CNC 100. Ce projet a débuté au sein de l'entreprise Mouton en 1998 et la conception générale de la machine a été réalisée par une équipe qui ne fait plus aujourd'hui partie de la société. Le prototype m'a été confié en Juillet 2000 et fait l'objet de mon premier projet pour la formation ITII.

1 Présentation du projet

1.1 Qu'est – ce – que le projet MI 4CNC 100 et pourquoi ce projet ?

L'entreprise Mouton conçoit et développe, depuis de nombreuses années, des machines – outils destinées principalement à la production des filières de tréfilage rondes (cf. présentation d'une filière en annexe 1). En 1998, le groupe Agir Technologies décide de se lancer dans la réalisation d'une rectifieuse cylindrique d'intérieur à commande numérique et confie le projet au département machines – outils de Mouton. Les raisons de ce projet appelé MI 4CNC 100 sont :

- modernisation de la gamme de machines – outils proposées sur le marché
- modernisation de l'atelier de production
- démonstration du savoir – faire de Mouton dans le domaine des rectifieuses
- augmentation des cadences de production des filières de tréfilage et de l'atelier de rectification.

La première machine est destinée à l'atelier de rectification de Mouton afin de fiabiliser le prototype avant de le lancer sur le marché international.

Un cahier des charges a été rédigé par le comité de direction (cf. annexe 2) et un budget fut attribué à la réalisation du projet.







1.2 Les enjeux du projet

L'investissement que représente le projet MI 4CNC 100 doit permettre, en dehors des objectifs principaux que j'ai évoqués précédemment, de répondre aux enjeux stratégiques du groupe Agir Technologies et de l'entreprise Mouton.

Enjeu n° 1 :
Reconquérir le marché de la filière de tréfilage ronde. En effet, la machine, en augmentant les capacités de production de l'atelier, va permettre à l'entreprise de réduire ses coûts de production et de s'aligner avec la concurrence étrangère.

Enjeu n° 2 :
Proposer une rectifieuse à commande numérique de milieu de gamme avec un prix inférieur à 1 million de francs (environ 150 000 Euros). C'est en effet un marché actuellement peu exploité mais avec une forte demande (les rectifieuses à commande numérique valent la plupart du temps plus de 1.5 millions de francs et possèdent une précision inférieure à 1μm).

Enjeu n° 3 :
Permettre au groupe Agir Technologies de s'implanter plus facilement sur le très prometteur marché asiatique qui, à l'heure actuelle, est en plein essor.

1.3 Les ressources et délais du projet

Les enjeux et le budget du projet étant très importants, il était nécessaire de mettre en place une équipe et de définir un délai pour le mener à bien.

Composition de l'équipe projet :
- 1 apprenti ingénieur
- implication de l'équipe machines – outils
- implication de la direction.

Evolution des délais

Au départ, la machine devait être opérationnelle pour le salon de la machine – outils qui a eu lieu en avril 1999 (salon de l'EMO à Paris). Celle ci fut présentée mais manquait de fiabilité en usinage, ce qui a amené la direction à repousser le délai de mise en production au mois d'août 2000. Cependant, compte tenu des mauvais résultats obtenus lors des essais du mois de Juillet 2000, le délai fut rallongé d'un an afin de procéder à des modifications permettant d'obtenir une machine fiable.



Prototype de la machine MI 4CNC 100.

(Prototype sur lequel j'ai travaillé durant mon projet)

2 Etats des lieux du projet

Avant de me lancer dans le projet, il me fallait prendre connaissance avec le domaine de la rectification et avec l'utilisation de la machine. Parallèlement, je devais faire un état des lieux des informations susceptibles de m'aider dans ma tâche et connaître la configuration de la machine.

2.1 La rectification et l'utilisation de la machine

Lorsque je suis arrivé dans l'entreprise, je ne connaissais pas le domaine de la rectification et n'avais jamais travaillé sur une commande numérique Fanuc. Je devais donc trouver des personnes susceptibles de pouvoir me donner des informations concernant ces deux compétences techniques. L'ensemble du personnel a été ouvert à mes questions, mais je me suis, par la suite, tourné vers les personnes qui étaient les plus intéressées par le projet et qui spontanément me donnaient des conseils, à savoir :

- un opérateur – rectifieur pour les notions de rectification (vitesses de coupe, d'avance…)
- le responsable du secteur électroérosion pour la rectification en commande numérique
- un stagiaire chargé de l'avancement du projet pour la programmation.

En dehors de l'entreprise, j'ai également pris contact avec notre fabricant de meulettes et avec la société qui s'était chargée de mettre en place la commande numérique sur le prototype.

2.2 Etat des lieux des informations

Prendre la suite d'un projet dans un domaine d'activité inconnu nécessite de faire un inventaire des documents susceptibles de répondre aux différentes questions que je pouvais me poser. J'ai réalisé cet inventaire et pu classer les informations disponibles en cinq catégories :

- des manuels techniques d'utilisation de la commande numérique
- des plans mécaniques
- 1 livret de formation sur la composition et l'utilisation des meulettes
- des programmes d'usinage
- des factures ainsi qu'un dossier comptable pour la budgétisation.

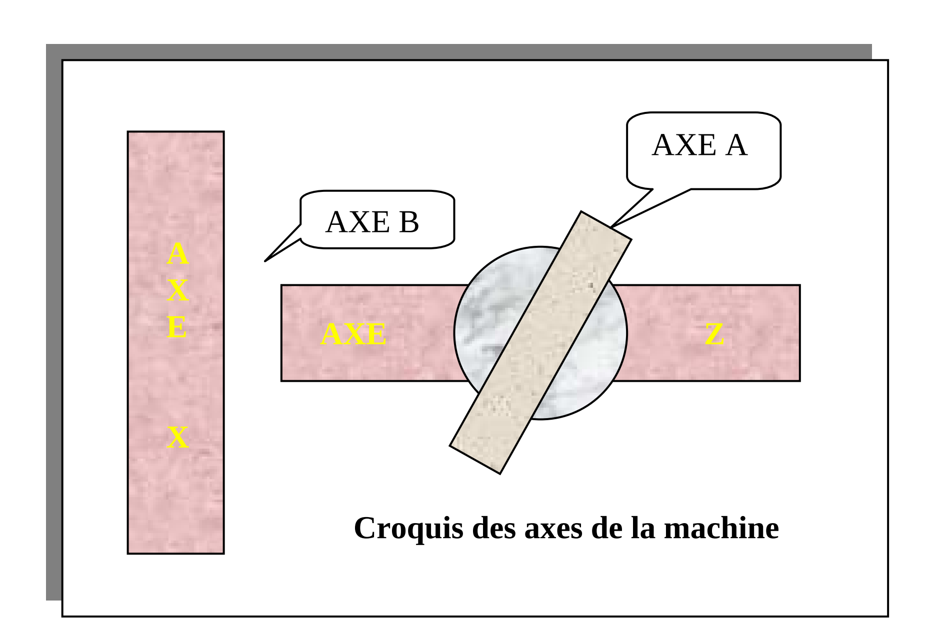
Cet état des lieux réalisé, j'ai dû procéder à une analyse complète de la configuration de la machine afin de comprendre sa cinématique et recenser les éléments qui la composent.

2.3 Configuration de la machine

Le projet MI 4CNC 100 consiste à réaliser une rectifieuse cylindrique d'intérieur à commande numérique, destinée principalement à l'usinage des filières de tréfilage rondes. Les éléments qui la composent sont donc :

- 2 axes linéaires pour les mouvements de translation (axes perpendiculaires)
- 1 axe rotatif pour le mouvement angulaire de l'outil
- 1 axe linéaire pour le mouvement de va et vient
- 1 broche haute fréqence (90 000 trs.min^{-1}) pour la rotation de l'outil
- 1 mandrin piloté par un moteur électrique pour la rotation de la pièce
- 1 commande numérique du type GE Fanuc pour piloter la machine (type 18iT)

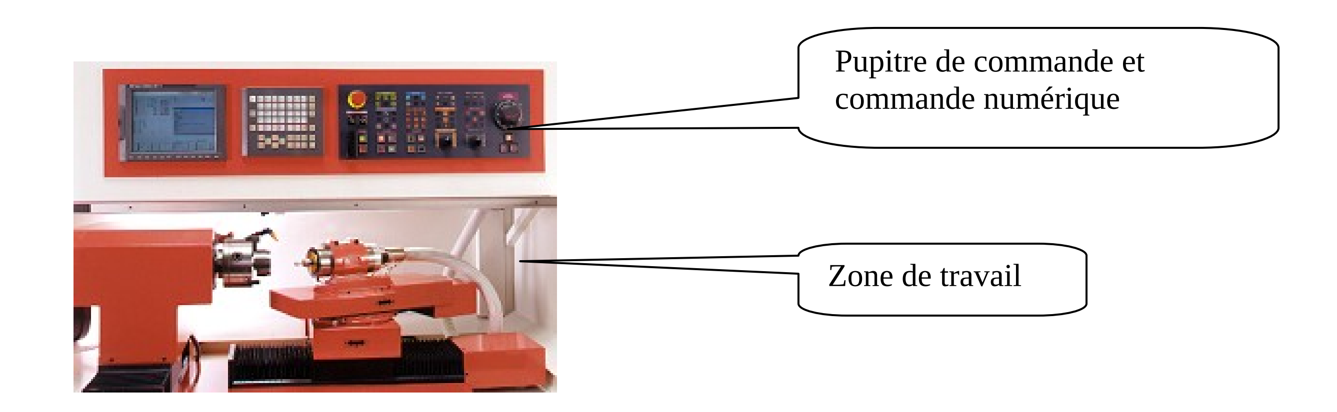
- 1 centrale d'arrosage (Filtres Monnet)
- 1 pupitre de dialogue entre l'opérateur et la machine.



Croquis des axes de la machine


Axes de la machine

Ces phases d'état des lieux m'ont permis de m'adapter plus facilement au domaine de la rectification et d'apprendre rapidement le fonctionnement de la machine. Je pouvais dorénavant me lancer dans la suite du projet qui consistait à l'évaluation des capacités du prototype.



3 Evaluation des capacités de la machine

La prise de décision concernant la mise ou non en production du prototype ne pouvait se faire sans une analyse complète de ses capacités. L'évaluation a donc porté sur les outils utilisés et sur les résultats obtenus en usinage. Chaque essai réalisé pour cette évaluation s'est vu attribuer une note.

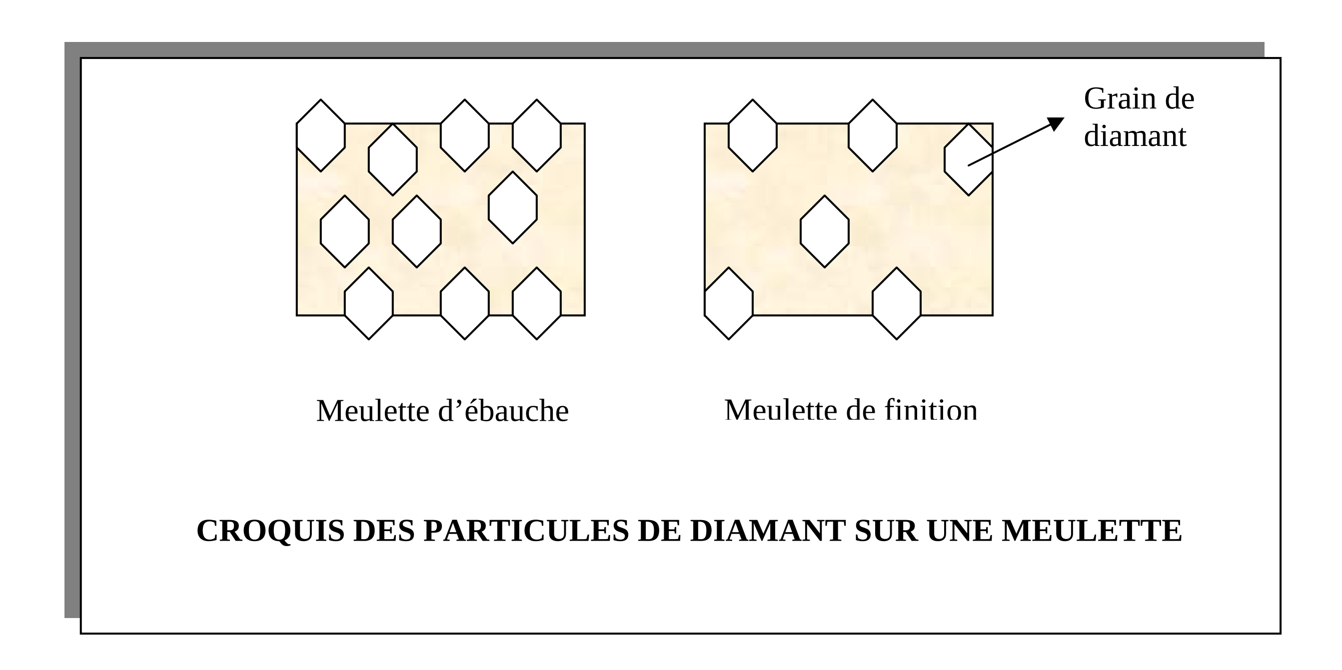
3.1 Evaluation des outils utilisés

La rectification d'une filière nécessite trois phases :

- l'ébauche
- la semi – finition
- la finition (aspect poli – glacé)

Chacune de ces trois phases impose l'utilisation d'une meulette différente. En effet, la concentration en diamant de l'outil est plus importante pour les opérations d'ébauche que pour celles de finition.

(cf. désignation d'une meulette en annexe 4)



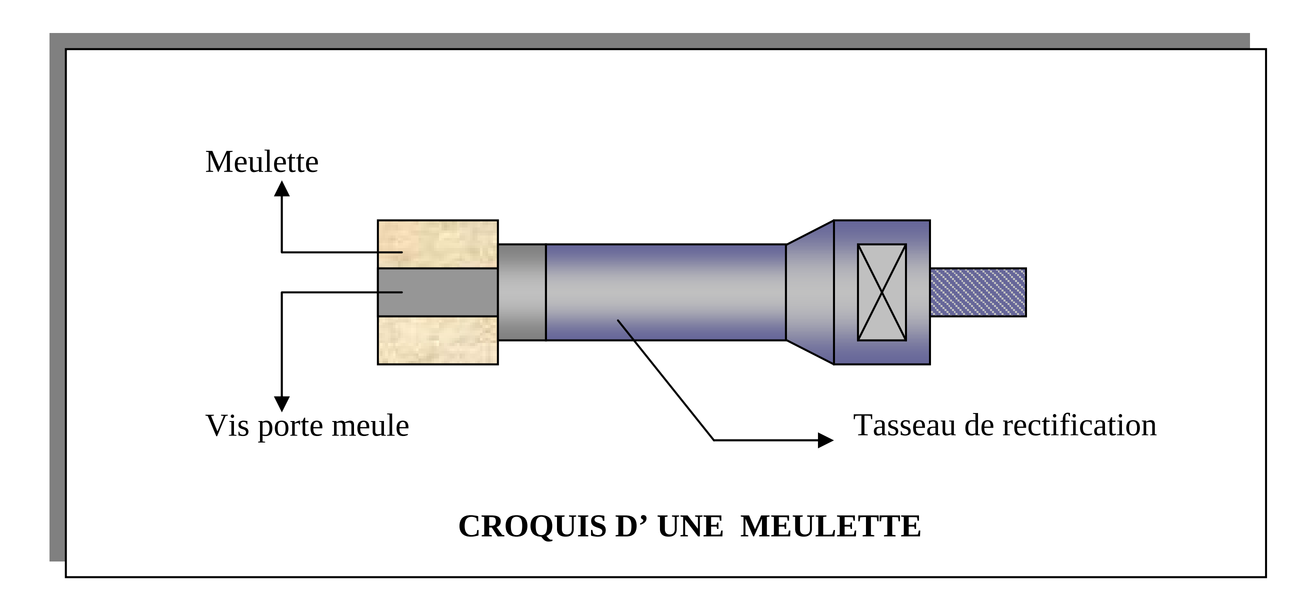
CROQUIS DES PARTICULES DE DIAMANT SUR UNE MEULETTE

Le prix d'une meulette étant relativement important, il faut, si l'on veut réduire au maximum les coûts de production des filières, choisir celles dont l'usure est la plus faible afin qu'elles puissent servir sur de grandes séries de production.







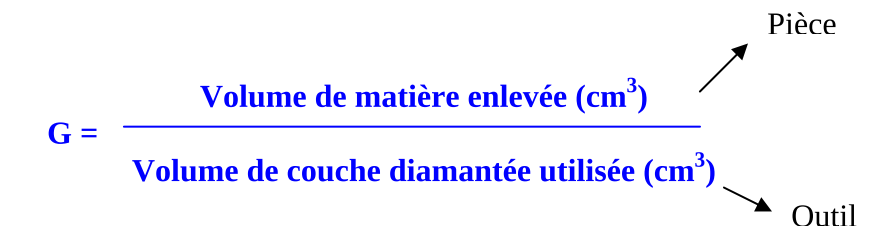


Pour débuter ces essais, il me fallait trouver un critère de comparaison et créer des fiches de suivi des essais (cf. annexe 5 pour les fiches de suivi d'essais). Le meilleur critère que j'ai pu trouver pour comparer les meulettes est celui utilisé par tous les fabricants d'outils abrasifs, à savoir le rendement G (taux d'enlèvement matière). J'ai donc calculé ce rendement pour chaque essai réalisé, ce qui m'a permis de définir :

- les meulettes ayant la meilleure résistance à l'usure
- les vitesses d'usinage optimales pour chacune des meulettes sélectionnées

Rendement G :

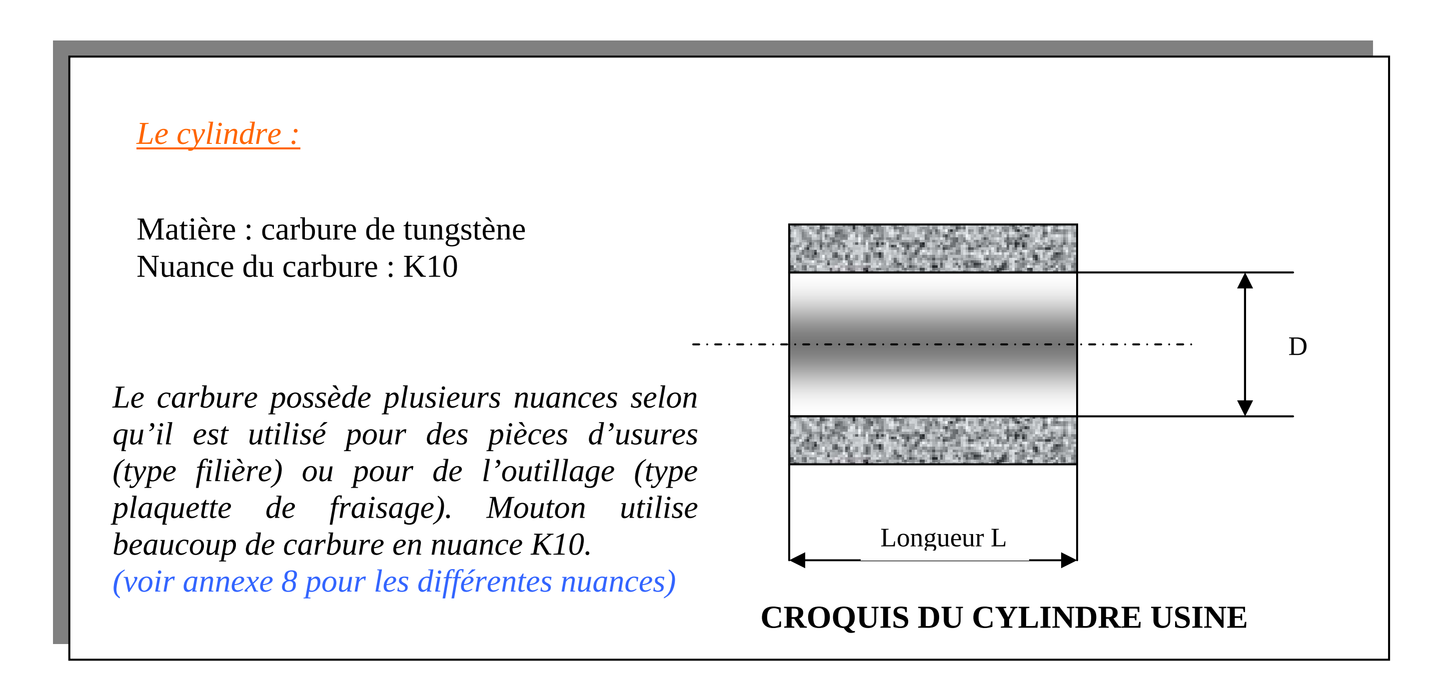
Le rendement G est le seul critère qui permette de comparer de manière objective les meulettes car il permet, en travaillant sur les volumes de matière, de supprimer les effets du diamètre de l'outil utilisé et de la pièce usinée. Plus le rendement G est important, plus la meulette a une bonne résistance à l'usure.



Permet d'évaluer la capacité de coupe et la résistance à l'usure de la meulette.

En général : diamètre de la meulette = 2/3 diamètre de la portée de filière.

Les essais ont été réalisés en rectifiant l'intérieur d'un cylindre.



Les meulettes testées sont celles utilisées couramment chez Mouton. Elles sont présentées dans le tableau suivant :

D126 C125 M263/4	Ebauche
D126 C125 G	Ebauche
D107 C100 B55	Ebauche
D54 C100 B5	Semi – finition
D46 C100 M263/4	Semi – finition
MD20 C100 B3	Finition
MD10 C75 B3	Finition

Les résultas obtenus concernant les meulettes sélectionnées sont présentés dans le tableau suivant :

Type de meulette	D126 C125 M263/4	D107 C100 B55	MD20 C100 B3	MD10 C75 B1
Vitesse meulette $mm.s^{-1}$	30 000	30 000	30 000	20 000
Vitesse pièce $mm.s^{-1}$	400	400	400	300
Vitesse table $mm.s^{-1}$	800	1 000	1 100	600
Rendement G obtenu	>250	>250	>250	260
Rendement G théorique	50-250	50-250	50-250	50-250

TABLEAU DE RESULTATS DES ESSAIS MEULETTES

(Les résultats concernant les autres meulettes n'étant pas satisfaisants, ils ne seront pas communiqués dans ce rapport).

3.2 Evaluation des capacités en usinage

Afin de pouvoir juger de la précision de la machine, il a été nécessaire de faire des essais en usinage de façon à comparer les résultats obtenus avec le cahier des charges défini par le comité de direction.
Les essais ont été réalisés dans les conditions suivantes :

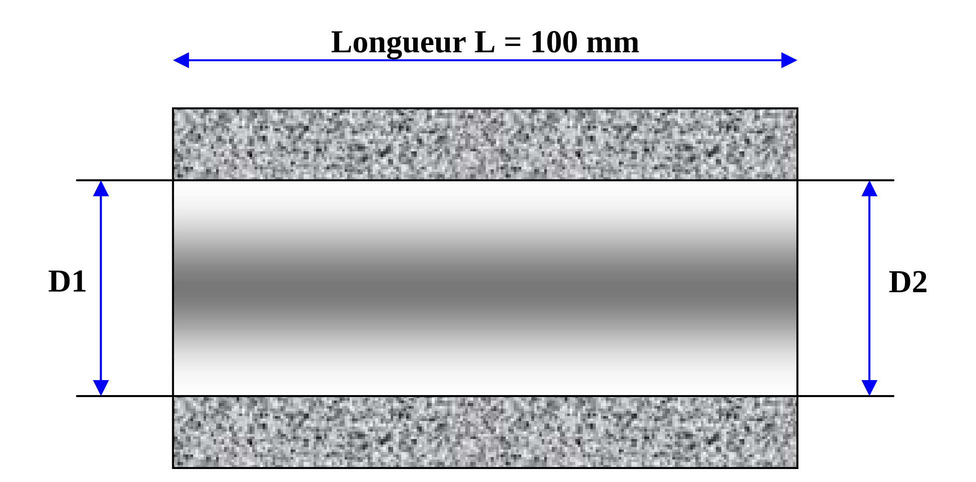
- rectification de l'intérieur d'un cylindre (même type que pour les essais de meulettes)
- compensation des efforts de flexion de l'outil
- compensation de l'usure de l'outil lors du contrôle de la cote obtenue.

L'objectif principal de l'évaluation en usinage du prototype était de savoir si sa géométrie et sa précision permettaient de répondre au cahier des charges. La répétitivité des cotes a également fait l'objet de cette évaluation.

Géométrie de la machine :

La géométrie d'une machine est très importante, en particulier pour une rectifieuse.
Pour notre application, la géométrie concerne :

- la perpendicularité entre les axes de l'outil et de la pièce de manière à ce que l'usinage d'un cylindre ne donne pas un cône
- la précision sur les pièces réalisées et la répétitivité de cette précision.



CROQUIS DU CYLINDRE DE REFERENCE AU CAHIER DES CHARGES

En ce qui concerne les résultats souhaités en usinage, le cahier des charges stipule :

Géométrie : **I D1 – D2 I < 0.01 mm**
Tenue des cotes : **I Cote Obtenue – Cote Désirée I < 0.01 mm**
Répétitivité : **écart maximal entre les essais < 0.01 mm**

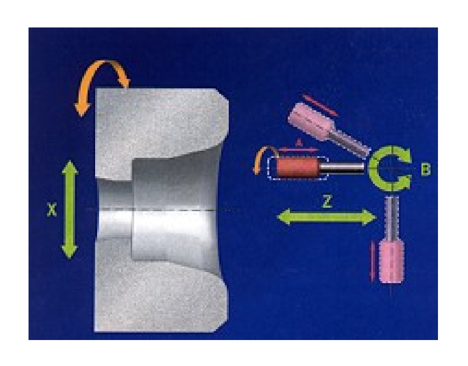
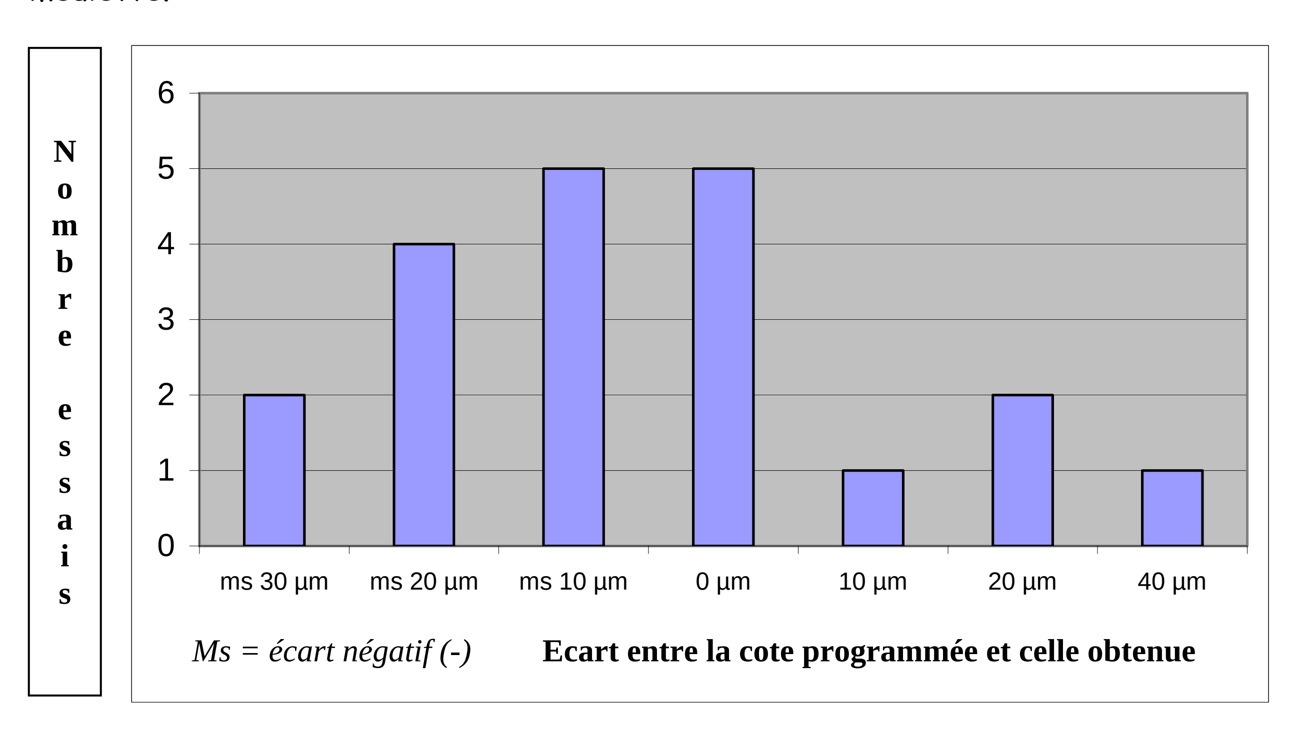


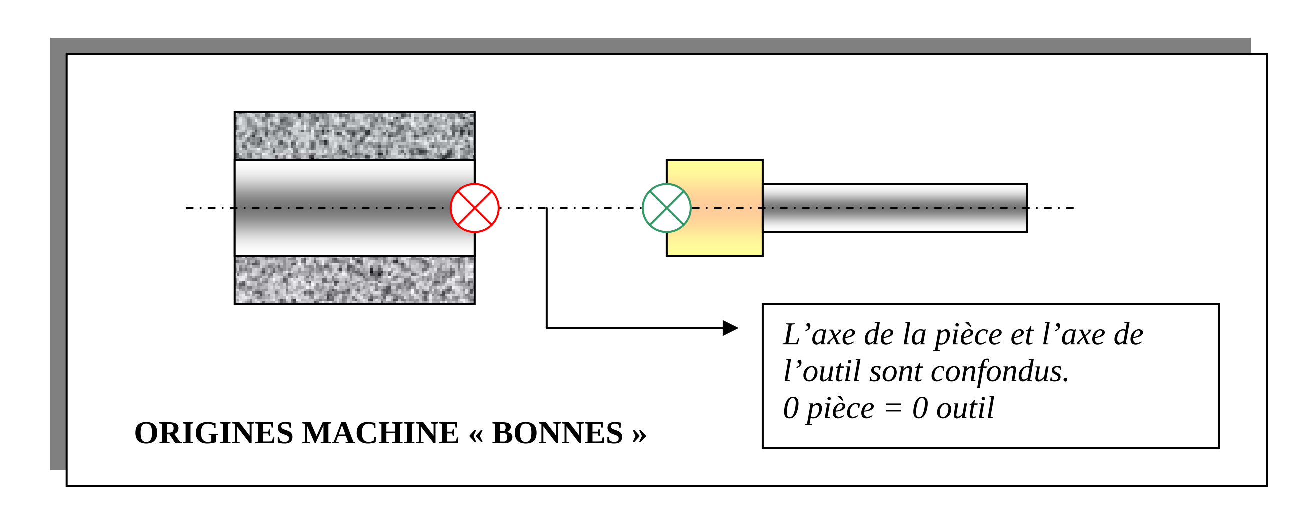
Schéma représentant le fonctionnement des axes X et B

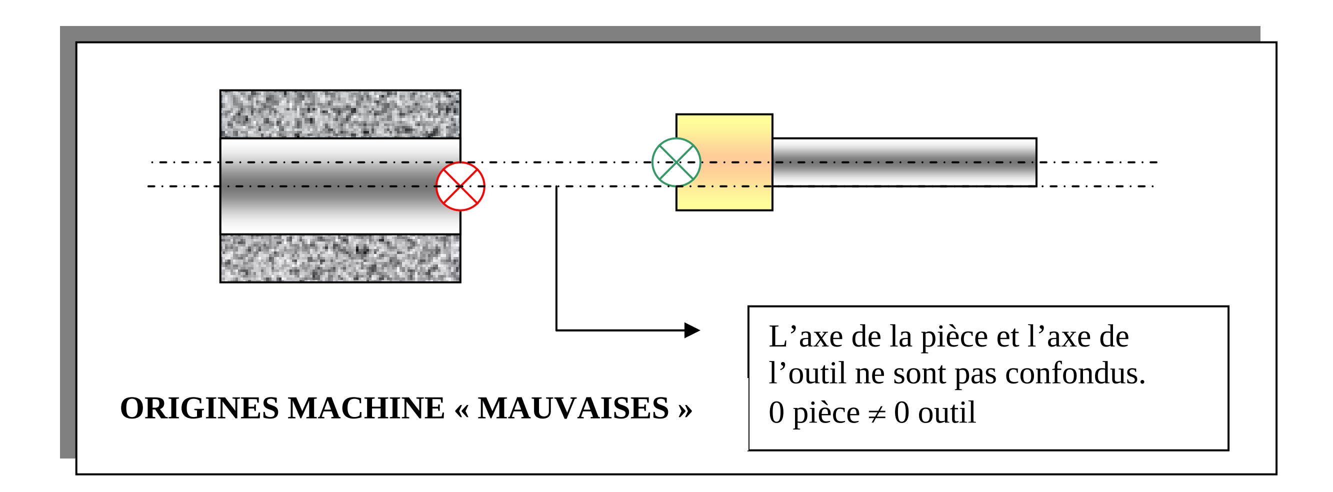
20 essais ont été réalisés et le graphique suivant donne les écarts obtenus entre la cote programmée et la cote réalisée. Ces écarts tiennent compte de l'usure de meulette.



- 55 % des essais ont un écart inférieur à 0.01 mm (en valeur absolue)
- 45 % des essais ont un écart supérieur à 0.01 mm (en valeur absolue)

Ces résultats ne sont pas acceptables pour une machine susceptible de rejoindre un atelier de production, et encore moins pour une rectifieuse. En plus de la perpendicularité des axes qui n'était pas bonne, j'ai remarqué, lors des essais, un décalage des origines de la machine. Or, des origines machine parfaites sont indispensables pour réaliser des pièces précises et limiter les risques de collision entre la pièce et l'outil.





Les résultas obtenus sont présentés dans le tableau d'aide à la prise de décision suivant

	Géométrie	Tenue de cote	Répétitivité
Obtenu	>0,015 mm	> 0,01 mm	> 0,01 mm
Souhaité	< 0,01 mm	< 0,01 mm	< 0,01 mm
Décision	non	non	non

Tableau d'aide à la prise décision concernant les capacités du prototype actuel

L'analyse de ce tableau nous montre qu'il est impossible de mettre le prototype actuel en production et que des modifications s'imposent pour garantir sa fiabilité vis à vis du cahier des charges.

3.3 Le système de notation

Comme je l'ai précisé dans l'introduction de ce chapitre, tous les essais se sont vus attribuer une note qui m'a permis de savoir si ceux ci étaient mauvais, acceptables, bons ou excellents. Suivant les essais réalisés, les critères notés n'était pas toujours les mêmes.

Système de notation :

mauvais = 0
moyen = 1
bon = 2
excellent = 3

La note globale de l'essai est obtenue en faisant la moyenne des notes de chaque critère et en arrondissant à l'unité inférieure (ex : 2.90 donne une note globale de 2). Les notes obtenues pour l'ensemble des campagnes d'essais sont ensuite analysées et permettent la réalisation de tableaux d'aide à la décision, comme celui que nous avons précédemment. Ces tableaux reflètent les capacités du prototype à répondre aux exigences du cahier des charges.

Après évaluation les capacités en usinage de la machine actuelle ne sont en aucun cas acceptables puisque 45% des pièces réalisées seraient envoyées au rebus. Des modifications ont donc été décidées afin de concevoir un prototype capable de répondre au cahier des charges.

4 Recherche et mise en place de solutions techniques

La recherche de solution a débuté par la rédaction du cahier des charges et par la recherche de fournisseurs capables de répondre à notre demande. Les modifications concernaient :

- le remplacement de l'axe linéaire de va et vient (axe A)
- la mise en place d'une règle optique sur l'axe X
- la mise en place d'un codeur sur l'axe B

- la mise en place d'une mesure laser du diamètre de l'outil *(l'étude de cette modification ayant été réalisée par l'équipe précédente, je ne l'aborderai pas dans ce rapport)*
- La mise en place d'un bâti en granite.

4.1 Rédaction des cahiers des charges

Dans le but de donner aux différents fournisseurs contactés des informations complètes concernant nos attentes sur les modifications prévues, j'ai rédigé trois cahiers des charges :

- 1 cahier des charges pour le nouvel axe de déplacement linéaire pour les mouvements de va et vient
- 1 cahier des charges pour la règle et le codeur optique
- 1 cahier des charges pour le bâti en granite.

(voir les cahiers des charges en annexe 3)

Ce sont ces cahiers des charges qui ont été diffusés aux différents fournisseurs contactés.

4.2 Recherche des fournisseurs et choix des solutions

J'ai effectué la recherche des fournisseurs par le biais des différents contacts que la société Mouton possède, ainsi que par le biais des portails Internet spécialisés dans la fourniture de composants mécaniques.

4.2.1 Fournisseurs contactés pour le changement de l'axe A

- Almé Star (entreprise appartenant au groupe allemand « Mannesmann Rexroth »)
- TSA
- SKF
- INA
- ELITEC (agent exclusif en France de l'entreprise Suisse « Roll Vis »)
- SCHNEEBERGER (entreprise nous ayant fourni les axes montés sur le prototype actuel).

Seulement 50% de ces sociétés ont répondu positivement au cahier des charges fourni. Afin de faire le meilleur choix parmi les différentes solutions proposées, il

fallait procéder à une étude comparative des différents matériels.

Etude comparative des tables pour Axe A

	Schneeberger	Almé Star	ELITEC
Type de table	NCB 76 SR6 400/150 K2 N1 L	TKK 15 155	TVP 150 - S
Type de guidage	Patins à rouleaux croisés / Recirculation	Patins à billes	Patins à recirculation de billes
Type de vis	Vis à billes rectifiées	Vis roulée	Vis à rouleaux satellites rectifiée
Pas de vis	5 mm	5 mm	5 mm
Diam vis	16 mm	20 mm	15 mm
Course maximum	180 mm	117 mm	100 mm
Capacité de charge	7500 N	14300 N	15 000 N
Moment ML	187 Nm	1160 Nm	1120 - 1680 Nm
Moment MQ	405 Nm	1330 Nm	1150 - 1700 Nm
Rectitude du mouvement	14 µm sur la course	à déterminer par des essais	
Répétabilité du guidage	2 µm	0,01 mm	< 0,01 mm (normalement 1µm)
Précision	10 µm / 300 mm	23 µm / 300 mm	23 µm / 300 mm
Hystérésis	2 µm	à déterminer par des essais	nul
Prix HT	27 800,00 F	22 000,00 F	31 300,00 F

Pour comparer de manière objective les différents critères de chaque table, j'ai créé un tableau d'aide à la prise de décision. Chacun des critères a subit un système de notation comparable à celui utilisé lors de l'évaluation des capacités du prototype. Les critères les plus importants ont été affectés du coefficient 2. Les résultas ainsi obtenus sont inscrits dans le tableau suivant :

	Coef	Schneeberger	Almé Star	Elitec
Type de vis	2	2	1	3
Type de guidage	1	3	2	2
Capacité de charge	1	2	2	2
Moments admissibles	1	2	2	2
Précision de positionnement	2	3	1	2
Répétitivité de positionnement	2	3	1	2
Hystérésis	2	2	0	3
Protection	1	0	0	0
Prestations de services associées	2	0	2	2
Prix	1	2	3	1
Total		**29**	**19**	**31**

TABLEAU DE NOTATION DES SOLUTIONS

(Nota : les prestations de services associées ont été appréciées en fonction des contacts qui ont eu lieu avec les différents fournisseurs).

C'est donc la société Elitec qui a répondue le mieux à la demande, même si le produit proposé était similaire, en terme de qualité, à celui de la société Schneeberger. De plus, les relations quelques peu tendues entre Mouton et Schneeberger au sujet de l'axe A, n'ont fait que confirmer en toute objectivité ce résultat.

4.2.2 Fournisseurs contactés pour le système de mesure des déplacements

Pour la règle et le codeur optique, j'ai directement choisi de m'orienter vers le fabricant le plus réputé au monde : Heidenheim. Le revendeur de cette marque m'a proposé une seule solution pour la règle, compte tenu de la compatibilité avec une commande numérique Fanuc.

Déplacement linéaire :

- *règle optique :* *type LC 191 F*
- *précision de mesure :* *2 µm*
- *résolution de mesure :* *0.1 µm*
- *étanchéité :* *IP 65*

(voir les indices d'étanchéité en annexe 9)

Pour le codeur, deux choix étaient possibles.

Déplacement angulaire :

Déplacement angulaire		
Type de codeur	RCN 220	RCN 723
Précision de mesure	5''	4''
Résolution de mesure	1,2 ''	0,15''
Protection	IP 64	IP 64

Afin de garantir un maximum de précision à la machine, le choix de l'entreprise s'est orienté vers le codeur de type RCN 723.

(A savoir : 1° = 60' (minutes) = 3600'' (secondes))

4.2.3 Fournisseurs contactés pour la réalisation du bâti en granite

Pour le bâti en granite, j'ai dans un premier temps pris contact avec deux fournisseurs spécialisés dans la réalisation de bâti pour machines – outils :

- 1 en France
- 1 en Chine.

Cependant, les prix pratiqués par ces deux entreprises dépassaient largement le budget susceptible d'être attribué. Il fallut alors trouver une autre solution. Monsieur Jean Pierre Ferret a alors confié la réalisation de ce bâti à un marbrier dont il connaissait le savoir – faire et dont les prix étaient acceptables.

4. 3 Financement des solutions

Pour pouvoir envisager l'implantation de ces solutions sur le prototype, j'ai présenté à la direction le budget nécessaire aux modifications. Ce budget, qui s'élevait à 200 000 Francs, fut accepté et les commandes purent être passées.

(Pour des raisons de confidentialité le budget ne sera pas abordé dans ce rapport).

4.4 Mise en place des solutions

Les différentes solutions à mettre en place ayant été choisies et les commandes passées, j'ai planifié le montage du matériel sur le prototype. J'ai également prévu l'intervention de deux sociétés qui viendront nous aider à mettre en place une partie du matériel (la mesure laser de l'outil) et pour lesquelles il était indispensable de prévoir leur semaine de présence dans les locaux de Mouton.

Planning de montage du matériel

Tâches	sem 35	Sem 36	sem 37	sem 38	sem 39	sem 40	sem 41	sem 42	sem 43
Perçage du bâti									
Montage du bâti									
Formation ITII									
Montage règle et codeur									
Formation Ladder									
Montage mesure Laser									
Essais machine									

 Délai de réalisation idéal (possède des marges pour la réalisation)

 Chemin critique (pas de marge, un retard dans une tâche retarde le projet)

Une fois que les solutions permettant l'amélioration du prototype auront été mises en place, celui – ci devra répondre au cahier des charges émis par la direction au début du projet. Cependant, avant de prendre une décision concernant la mise en production de la machine, des tests semblables à ceux réalisés lors de la phase d'évaluation seront nécessaires.

5 Tests et mise en production du prototype amélioré

Même si les modifications prévues sur la machine ne sont pas encore mises en place, il est indispensable, dans un souci de réduction des délais, de faire les programmes qui permettront de tester les nouvelles capacités de la machine. De plus, la mise en production de celle – ci impliquera une formation pour les opérateurs concernés par la MI 4CNC 100, ce qui signifie qu'il faut réfléchir à l'avance au programme de formation.

5.1 Réalisation des programmes

La réalisation des programmes pour les tests m'a amené à changer de stratégie d'usinage. En effet, celle utilisée jusqu'à présent ne permettait pas à la machine de travailler dans de bonnes conditions. Par contre, celle que je propose me semble idéale puisqu'elle retranscrit en commande numérique ce qui se fait en rectification traditionnelle.

Ancienne méthode ou méthode dite du « suivi de profil »
Les caractéristiques de cette méthode sont :

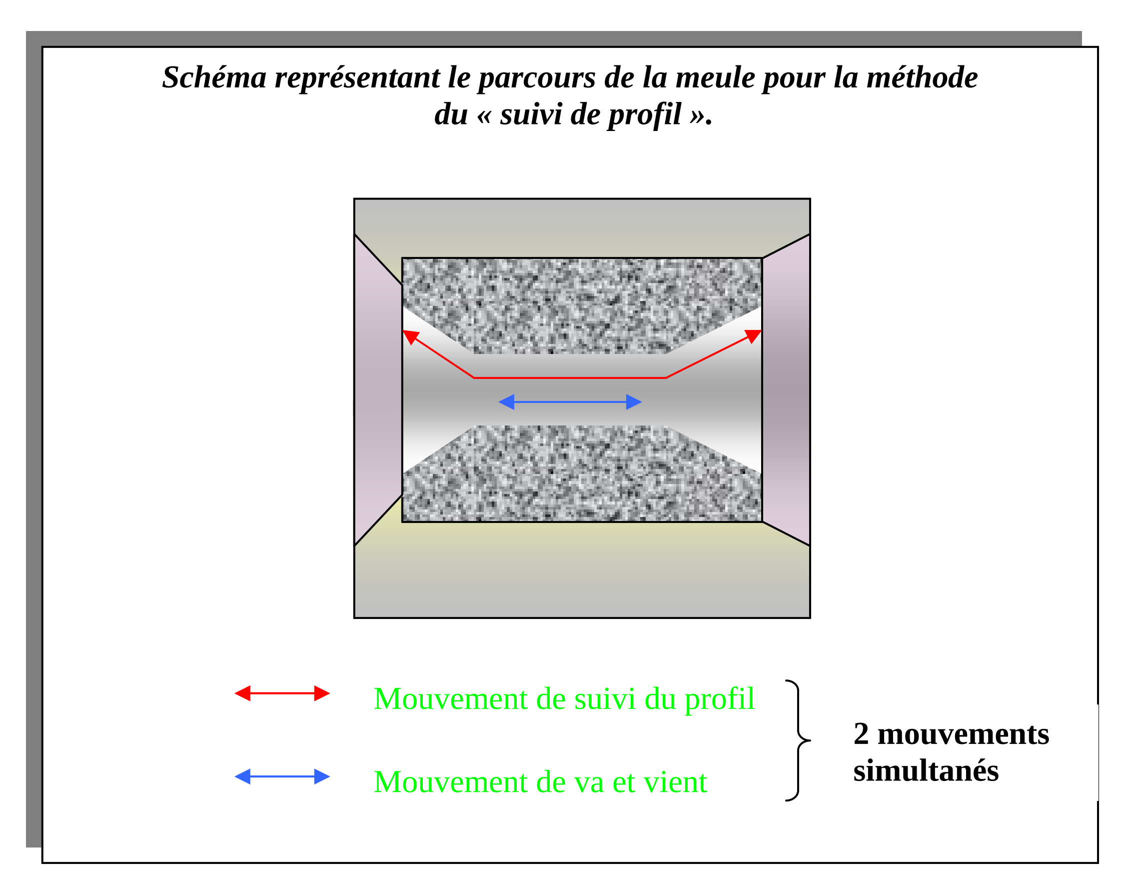
- la meulette suit le profil de la filière tout en réalisant son mouvement de va et vient
- l'outil travaille comme en tournage
- deux mouvements d'usinage sont utilisés simultanément :
    - mouvement de l'axe Z pour le suivi du profil
    - mouvement de l'axe A pour le va et vient.

Avantages :
- programmation facilitée
- suivi du profil comme en tournage

Inconvénients :
- deux mouvements d'usinage simultanés
- les vitesses d'avance varient suivant le sens du va et vient
- mauvaises conditions de coupe



Echantillons d'outils utilisés sur la machine.



Nouvelle méthode ou méthode dite « par étape »

Les caractéristiques de cette méthode sont :

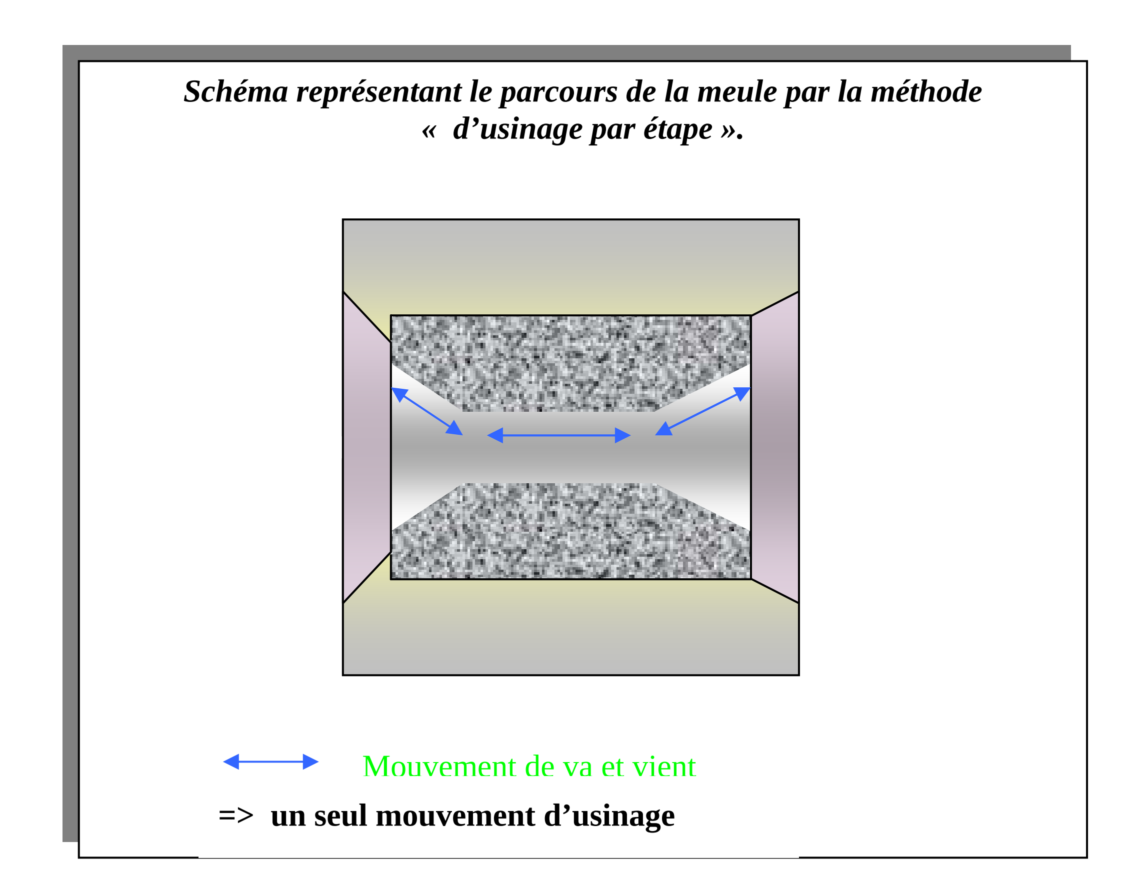
- rectification traditionnelle appliquée à la commande numérique
- rectification par étape :
    - usinage de la portée
    - usinage du cône d'entrée
    - usinage du cône de sortie.
- 1 seul mouvement d'usinage :
    - mouvement de l'axe A pour le va et vient.

<u>Avantages :</u>

- 1 seul mouvement d'usinage
- vitesses de coupe stables
- bonnes conditions de coupe

<u>Inconvénients :</u>

- calculs plus importants
- difficultés de programmation



En utilisant la méthode d'usinage dite « par étape », j'ai réalisé deux types de programmation. Le premier, littéral, consiste à saisir le programme via le pupitre de commande. Le deuxième, sous Excel, consiste à utiliser un ordinateur pour entrer le programme dans la machine.

Programmation littérale (cf. annexe 10)

Avantages :	Inconvénients :
- modification facile des variables - programmation via le pupitre de commandes de la machine.	- l'opérateur a du mal à visualiser la correspondance des variables (diamètre de la pièce, de l'outil…) - pas de sauvegarde possible des différents paramètres.

Programmation Excel (cf. annexe 11)

Avantages :	Inconvénients :
- méthode très visuelle qui permet de comprendre facilement la correspondance des variables - possibilité de sauvegarder chaque modification des paramètres - facilement utilisable sur une commande numérique équipée d'un ordinateur PC.	- nécessité d'avoir un PC connecté à la machine si la commande numérique n'est pas équipée - programmation plus complexe au départ.

5.2 Evaluation des capacités et mise en production

Le choix de la mise en production se fera en analysant les résultats obtenus lors des différentes phases d'essais (essais d'usinage de cylindres et essais d'usinage de filières). Une fois que la machine pourra répondre de manière positive aux exigences du cahier des charges, elle sera transférée dans l'atelier de rectification de l'entreprise.







5.2.1 Création des fiches de suivi d'essais

Les fiches de suivi des essais permettent de juger si une campagne de tests répond aux exigences du cahier des charges ou si au contraire elle n'est pas satisfaisante.

Deux type de fiches de suivi des essais :

- fiches de suivi des essais des cylindres (les mêmes que lors de la première évaluation) (cf. annexe 6)
- fiches de suivi des essais filières (créées sur le même principe que celles pour les essais des cylindres) (cf. annexe 7).

Le système de notation utilisé est le même que pour la première phase d'évaluation.

5.2.2 Analyse des résultats

Les critères étudiés seront les mêmes que pour la première phase d'évaluation, à savoir :

- précision en usinage
- répétitivité des cotes
- géométrie
- usure des outils
- qualité de l'usinage.

De même pour les critères de performance qui seront :

- tenue de cote (0.01mm de tolérance maximum sur le diamètre)
- état de surface (en finition, la filière doit être « poli-glacée »)
- le rendement G.

La campagne de tests concernant l'usinage des cylindres se verra attribuer une note finale qui, reportée dans le tableau suivant, permettra de définir les actions à mener.

Note	Appréciation	Actions
0	mauvais	arrêt des essais - recherche de solutions et actions correctives
1	moyen	poursuite des essais - actions correctives
2	bon	arrêt des essais cylindre - début des essais filières
3	excellent	arrêt des essais cylindre - début des essais filières

Tableau d'aide à la décision pour la campagne d'essais d'usinage de cylindres

De même pour la campagne de test d'usinage des filières.

Note	Appréciation	Actions
0	mauvais	arrêt des essais - recherche de solutions et actions correctives
1	moyen	continuation des essais - actions correctives
2	bon	arrêt des essais filières - formation du personnel opérateur
3	excellent	arrêt des essais filières - formation du personnel opérateur

Tableau d'aide à la décision pour la campagne d'essais d'usinage de filières

Suite à ces essais, le comité de direction pourra prendre une décision concernant la mise en production du prototype MI 4CNC 100. Si celle ci est décidée, il faudra alors procéder à la formation du personnel opérateur.

5.3 La formation du personnel opérateur

Former le personnel est indispensable si l'on veut que l'équipe machine – opérateur fonctionne de façon optimale. J'ai donc mis en place un planning de formation qui permettra à l'ensemble des opérateurs d'apprendre rapidement à se servir de cette nouvelle machine. Ce programme de formation s'étale sur trois semaines durant lesquelles les opérateurs auront pour objectif, d'une part d'acquérir une complète autonomie dans le fonctionnement de la machine, d'autre part de pouvoir réaliser une maintenance préventive.

Planning de formation

1 ère semaine	
1er jour	Présentation des caractéristiques de la machine
2ème jour	Formation à l'usinage et aux notions de programmation
3ème jour	Prise de connaissance avec les programmes
4ème jour	Usinage
5ème jour	Usinage

2 ème semaine	
1er jour	Usinage
2ème jour	Usinage
3ème jour	Usinage
4ème jour	Usinage
5ème jour	Bilan sur la formation

3 ème semaine	
1er jour	Réponses aux différentes questions du bilan
2ème jour	Appréhension de la maintenance de la machine
3ème jour	Usinage
4ème jour	Usinage
5ème jour	Remise d'un manuel d'utilisation et de maintenance

Les parties « usinage » seront des périodes au cours desquelles les opérateurs travailleront seuls sur la machine de manière à se créer eux-mêmes des points de repères dans son fonctionnement. Ensuite, durant les autres étapes de la formation, je travaillerai avec eux pour leur transmettre mes connaissances. Une journée, en fin de deuxième semaine, sera réservée à un bilan sur la formation. Ce bilan me permettra, durant la troisième semaine, de répondre aux questions posées. Bien sûr, afin de ne pas pénaliser l'entreprise et la production des ouvriers, les journées de formation ne seront pas à temps complet. Seulement 2 ou 3 heures par jour y seront consacrées. Les moments seront choisis en fonction de la charge de travail de chaque opérateur et des priorités de l'entreprise.
Cette formation terminée, le projet MI 4CNC 100 aura abouti mais je resterai à la disposition des opérateurs pour répondre aux questions qu'ils se poseront et pour les aider à connaître parfaitement leur nouvelle machine. Il ne me restera plus qu'à prévoir la réalisation de la seconde machine.

6 Bilan pour l'élève ingénieur

Même si le projet n'est pas encore terminé, il me semble important, avant d'aborder le deuxième projet de la formation, de faire un bilan sur les points négatifs et positifs de l'année qui vient de s'écouler.

Points négatifs :

- difficultés à gérer toutes les tâches qui m'on été confiées
- mauvaise gestion des priorités
- difficulté à écouter les autres membres de l'équipe et à accepter leurs idées.

Points positifs :

- rapide adaptation au milieu de la rectification
- analyse des problèmes avant d'entamer leur résolution
- bonne méthode de résolution des problèmes
- bonnes démarches techniques et organisationnelles.

Conclusion

Le projet MI 4CNC 100, qui fut lancé en 1998 dans la société Mouton par le biais du groupe Agir Technologies, consistait à réaliser une rectifieuse cylindrique d'intérieur à commande numérique, destinée principalement à l'usinage des filières de tréfilage rondes. Au départ, ce projet devait être bouclé en une année, mais de nombreux problèmes techniques ont amené le comité de direction à repousser les délais de mise en production au dernier trimestre 2001. Le changement d'équipe au cours de la réalisation du prototype, des choix quelque peu rapides, ainsi qu'un manque de savoir faire en matière de machine à commande numérique, sont les causes de ce retard important dans la réalisation du projet.

Une fois que le prototype MI 4CNC 100 aura satisfait au cahier des charges, le comité de direction décidera de la stratégie commerciale à appliquer concernant la commercialisation d'une telle machine. Si la commercialisation est envisagée, il faudra procéder alors à des modifications importantes pour rendre la machine fiable. En effet, il est impensable pour une entreprise de proposer sur le marché international un produit manquant de fiabilité et qui nécessiterait de nombreux dépannages.
Le dynamisme du secteur machines – outils et de son personnel, ainsi que la volonté de l'entreprise de maîtriser la réalisation d'une rectifieuse à commande numérique, permettront de palier rapidement aux aléas rencontrés lors de la conception du premier prototype. Le groupe Agir Technologies, par le biais du secteur machines – outils de Mouton, pourra alors se positionner sur le marché très prometteur des rectifieuses cylindriques d'intérieur de milieu de gamme.

L'ère de la machine – outils à commande numérique ne fait que commencer dans la société Mouton. Malgré de nombreux balbutiements, il faut espérer que les efforts réalisés par l'ensemble du personnel machine – outils dans la voie de la commande numérique portent leurs fruits et entraînent un développement rapide de ce secteur. L'avenir des rectifieuses Mouton résiderait – il dans les commandes numériques ?

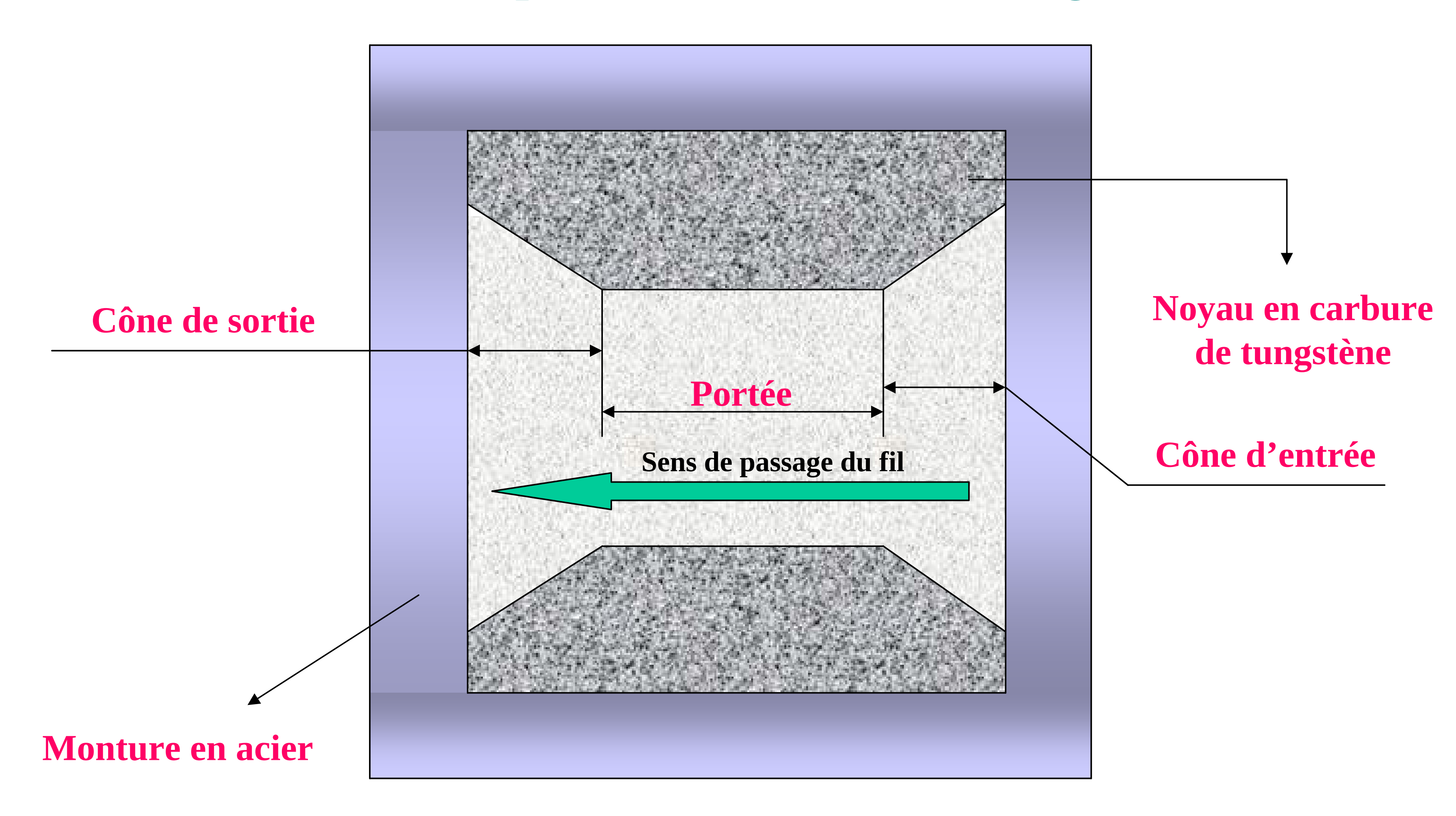
ANNEXES

ANNEXE 1

Présentation d’une filière de tréfilage ronde



Les caractéristiques d’une filière de tréfilage ronde



Explications des caractéristiques d’une filière

La portée :

- Permet de calibrer le fil qui passe à l’intérieur. La cote du diamètre de portée est très importante puisqu’elle donne la cote de diamètre du fil tréfilé.

Le cône d’entrée :

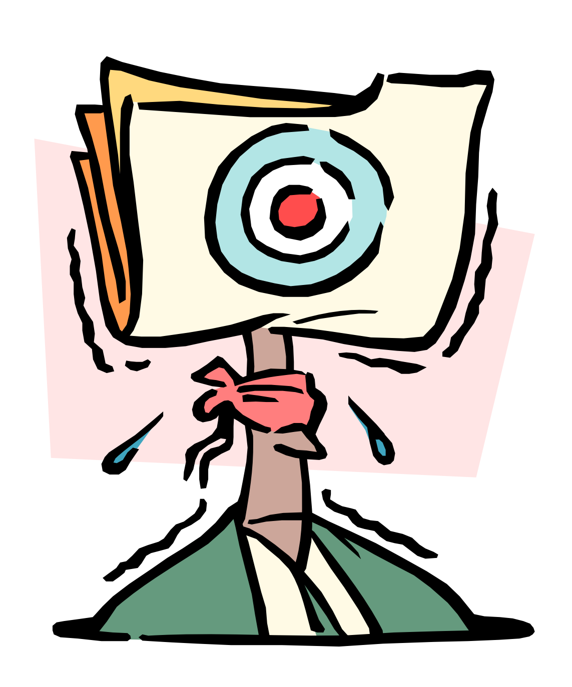
- Permet au fil de bien entrer dans la filière en lui évitant de bloquer.

Le cône de sortie :

- Permet au fil de ne pas se vriller en sortie de la filière, ce qui lui donnerait un mauvais état de surface.

ANNEXE 2

Les points essentiels du cahier des charges de la machine



Principaux éléments du cahier des charges techniques de la machine MI 4CNC 100

Généralités :

- rectifieuse cylindre d'intérieur
- machine pilotée par une commande numérique
- destinée à l'usinage des filières de tréfilage rondes
- machine travaillant sous arrosage

Composition de la machine :

- la machine devra posséder quatre axes numérisés
  - 1 axe pour le déplacement linéaire de la pièce (axe X)
  - 1 axe pour le déplacement linéaire de l'outil (axe Z)
  - 1 axe pour le déplacement angulaire de l'outil (axe B)
  - 1 axe pour le mouvement de va et vient propre à la rectification (axe A)
- la machine sera composée d'une broche haute fréquence
  - vitesse de rotation comprise entre 10 000 et 120 000 $trs.min^{-1}$
- un moteur servira à la rotation du mandrin de serrage de la pièce
  - vitesse de rotation comprise entre 200 et 1500 $trs.min^{-1}$
- la machine devra avoir un design attrayant

Attentes techniques des axes :

- **axe Z :**
  - course 316 mm
  - vitesse d'avance maximale 15 $m.min^{-1}$
  - protection IP 65
  - précision de positionnement inférieure à 0.01 mm
  - répétitivité de positionnement inférieure à 0.01 mm
  - jeu de fonctionnement nul

- **axe X :**
  - course 240 mm
  - vitesse d'avance maximale 15 $m.min^{-1}$
  - protection IP 65
  - précision de positionnement inférieure à 0.01 mm
  - répétitivité de positionnement inférieure à 0.01 mm
  - jeu de fonctionnement nul

- **axe B :**
  - angle de rotation –15° / +90°
  - vitesse de rotation maximale 50 $trs.min^{-1}$
  - précision de positionnement +/- 1'
  - protection IP 65

  - jeu de fonctionnement nul

- **axe A :**
  - course comprise entre +/- 10 mm et +/- 50 mm
  - fréquence de battement 10 à 80 battements par minute
  - précision de positionnement inférieure à 0.01 mm
  - répétitivité de positionnement inférieure à 0.01 mm
  - jeu de fonctionnement nul

Attentes techniques en terme d'usinage :

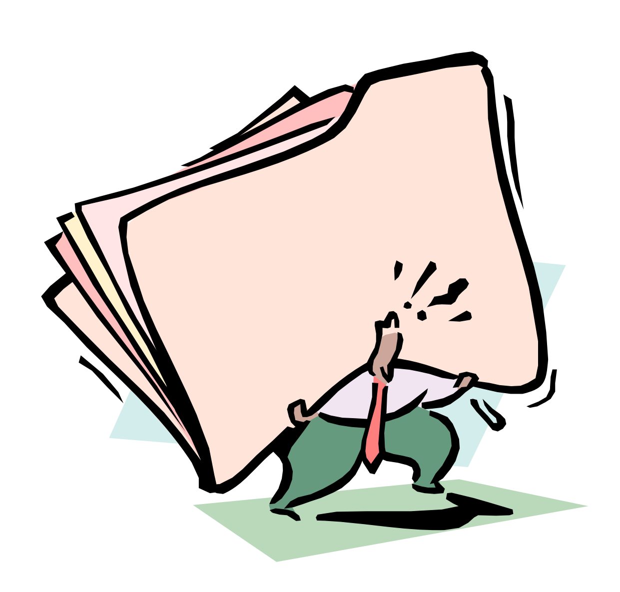
- précision de la pièce 0.01 mm sur le diamètre (5µm sur le rayon)
- répétitivité des cotes 0.01 mm
- diamètres pouvant être usinés compris entre 1 mm et 100 mm
- longueur maximale des pièces pouvant êtres usinées 100 mm
- machine capable de réaliser les cônes de sortie et d'entrée d'une filière ainsi que la portée en une seule prise de pièce
- en sortie d'usinage les pièces doivent être poli – glacées.

Dans cette annexe sont recensées les principales attentes du cahier des charges techniques émis par la direction lors du lancement du projet. Les points cités ci dessus sont ceux sur lesquels portait le projet de fiabilisation du prototype MI 4CNC 100.

ANNEXE 3

Cahiers des charges

pour les améliorations du prototype



AXE A

Cet axe est destiné à être monté sur une rectifieuse à commandes numériques et permettra de réaliser le mouvement de va et vient propre à la rectification.

Course :	*+/- 1mm à +/- 50mm (course totale : 100mm)*
Masse transportée :	*10 Kg à 120mm au-dessus sur chariot mobile*
Effort d'usinage :	*10N à 120mm du plateau mobile*
Course minimale :	*+/- 1mm avec une vitesse de 200mm/min*
Course maximale :	*+/- 50mm*
Précision de positionnement :	*0.005mm (ou inférieure à 0.01mm)*
Répétitivité de positionnement :	*0.005mm*
Hystérésis :	*nul*
Précision du guidage :	*0.005mm (ou inférieure à 0.01mm)*
Etanchéité :	*IP 65 souhaitable mais pas obligatoire*
Jeu de fonctionnement :	*nul*

Très bonne dureté de la vis afin de garantir une durée élevée compte tenu de l'utilisation qu'il sera fait de l'axe.

Le fournisseur s'engage également à nous proposer, en plus du matériel, une assistance technique tout au long de la phase d'essai du prototype. Le matériel proposé doit être garanti e,t en cas de défaut ou de problème survenant à cause d'une mauvaise étude du fournisseur, ce matériel devra être repris pour réparation où échange. Une ou plusieurs rencontres entre le fournisseur et la société Mouton auront lieu pour permettre aux fournisseurs de mieux cerner l'attente, et à l'entreprise Mouton de pouvoir évaluer les différentes solutions proposées.

Mesure des déplacements

Déplacement linéaire

L'entreprise Mouton souhaite intégrer sur une rectifieuse d'intérieur à commande numérique un système de mesure pour le déplacement linéaire de la pièce.

Caractéristiques attendues :

- *compatibilité avec une commande numérique Ge Fanuc 18 iT*
- *longueur de mesure : 500 mm*
- *résolution de mesure : inférieure à 1µm*
- *précision de mesure : inférieure à 5µm*
- *étanchéité : IP 65*
- *le système de mesure devra servir d'asservissement pour la machine*
- *positionnement en absolu afin de pouvoir conserver les origines machines ou le positionnement lorsque celle - ci n'est pas sous tension*

Déplacement angulaire

L'entreprise Mouton souhaite intégrer sur une rectifieuse d'intérieur à commande numérique un système de mesure angulaire afin de contrôler la rotation de l'outil lors des phases d'usinage des cônes d'entrée et sortie.

Caractéristiques attendues :

- *compatibilité avec une commande numérique Ge Fanuc 18 iT*
- *amplitude de mesure : +/- 90°*
- *résolution de mesure : inférieure à 2.5''*
- *précision de mesure : inférieure à 5''*
- *étanchéité : IP 65*
- *le système de mesure devra servir d'asservissement pour la machine*
- *positionnement en absolu afin de pouvoir conserver les origines machines ou le positionnement lorsque celle - ci n'est pas sous tension*

Le fournisseur s'engage également à nous proposer, en plus du matériel, une assistance technique tout au long de la phase d'essai du prototype. Le matériel proposé doit être garanti et en cas de défaut ou de problème survenant à cause d'une mauvaise étude du fournisseur, ce matériel devra être repris pour réparation où échange. Une ou plusieurs rencontres entre le fournisseur et la société Mouton auront lieu pour permettre aux fournisseurs de mieux cerner l'attente, et à l'entreprise Mouton de pouvoir évaluer les différentes solutions proposées.

A savoir : 1° = 60' (minutes) = 3600'' (secondes)

CAHIER DES CHARGES POUR LE BATI EN GRANITE

Le bâti en granite sera mis en place sur une rectifieuse cylindrique d'intérieur à commande numérique type MI 4CNC 100. Les tolérances définies sur les plans de définitions sont très importantes pour la géométrie de la machine.

Le fournisseur s'engage :

- *à nous fournir un ensemble conforme aux plans de définitions*
- *à nous fournir les tolérances demandées en termes de planéité, de perpendicularité et de parallélisme*
- *à nous informer si les dimensions en termes de longueur, largeur, et épaisseur lui semblent insuffisantes compte tenu de l'utilisation que nous souhaitons faire de cet ensemble et, le cas échéant, à ne rien entreprendre sans l'accord de la société MOUTON*
- *à nous garantir une résistance totale du bâti concernant les épaisseurs et les moyens de levage tels que les anneaux de levage*
- *à assurer le bon assemblage de l'ensemble*
- *à assurer la bonne mise en place sur la machine concernée*
- *à nous fournir le plan des inserts à mettre en place.*

La société MOUTON s'engage :

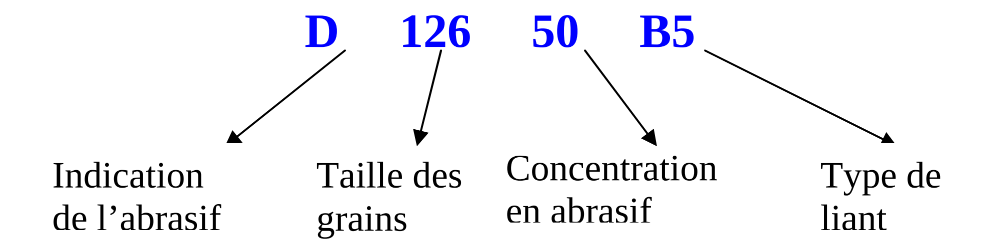
- *à fournir les inserts*
- *à fournir les inserts taraudés pour les anneaux de levage*
- *à s'occuper des différents perçages dans les inserts du bâti*
- *à répondre à toutes les sollicitations du fournisseur*
- *à prendre en compte les remarques qui seront éventuellement faites par le fournisseur sur la conception du bâti, son usinage, sa mise en place.*

ANNEXE 4

Comment désigner une meulette ?



Désignation d'une meulette

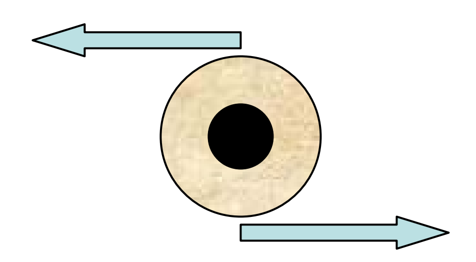


Indication de l'abrasif :	*D = diamant (MD pour les meulettes de finition)* *B = CBN (nitrure de bore cubique fabriqué comme le diamant synthétique et possédant une structure semblable à celle du diamant)*
Taille des grains :	*dépend de la phase de rectification dans laquelle on se trouve* *Ebauche : D181 ; D151 ; D126 ; D107 ; D91 ; D76* *Semi finition : D64 ; D54 ; D46* *Finition : MD 25 ; MD 20 ; MD 10*
Concentration en abrasif :	*en carats pas* cm^3 *(concentration de 100 => 4.4 carats par* cm^3*)*
Type de liant :	*B = résinoïde* *M = métallique* *V = céramique* *G = galvanique*

Formule de conversion mm.s-1 en tr.min-1

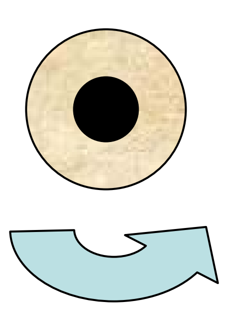
Données constructeur :

- vitesse périphérique de la meulette et de la pièce en mm.s-1.



Programmation sur la machine :

- vitesse de rotation de la meulette et de la pièce en tr.min-1.



Formule de conversion

Vitesse périphérique de la meulette en mm.s-1 = V

Vitesse de rotation de la meulette en tr.min-1 = N

Diamètre de la meulette en mm = D

$$N = (V / 3.1415) \times 60$$

ANNEXE 5

Fiche de suivi des essais meulettes



FICHE DE SUIVI DES ESSAIS MEULETTES

DONNEES DE BASE	
numéro essais	8
numéro de pièce	5
Type de carbure	K10
Type de cylindre	
Diamètre portée brut (mm)	20
Diamètre portée final (mm)	21
Tolérance sur le diamètre (mm)	(+/-) 0,01
Longueur du cylindre (mm)	38
Type de meulette	D126 C125 M263/4
Diamètre initial (mm)	15
Diamètre final (mm)	14,98
Longueur meulette (mm)	10
Périphérique meule (mm.s-1)	30 000
Périphérique pièce (mm.s-1)	400
vitesse de coupe (mm.min-1)	800

RESULTATS			
Calcul du rendement G			
Volume de matière portée (mm3)		1223,650339	
Volume meulette (mm3)		4,709247388	
Rendement G obtenu		259,8398933	
Rendement théorique		50-250	

G obt < G th	G obt = G th	G obt > G th	
mauvais	bon	excellent	
Etat de surface obtenu			
mauvais	moyen	bon	excellent

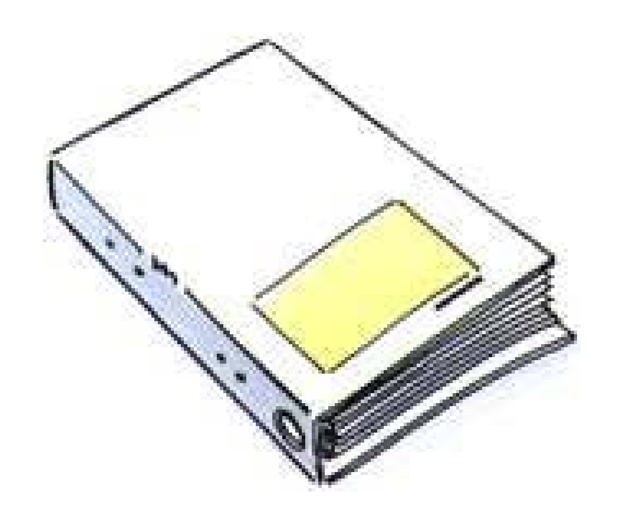
NOTATION			
mauvais = 0	moyen = 1	bon = 2	excellent = 3
Note de l'essai	(3 + 2) / 2 = 2		

Pour obtenir la note de l'essai il faut faire la moyenne des notes obtenues et arrondir à l'unité inférieure

ANNEXE 6

Fiche de suivi des essais

d’usinage de cylindres



FICHE DE SUIVI DES ESSAIS CYLINDRE

DONNEES DE BASE

numéro essais	3
numéro de pièce	5
Type de carbure	K10
Type de cylindre	
Diamètre brut (mm)	20
Diamètre final (mm)	21
Tolérance sur le diamètre (mm)	(+/-) 0,01
Longueur du cylindre (mm)	35
Type de meulette	D46 C100 M263/4
Diamètre initial (mm)	15
Diamètre final (mm)	14,5
Longueur meulette (mm)	10
Périphérique meule (mm.s-1)	20 000
Périphérique pièce (mm.s-1)	500
vitesse de coupe (mm.min-1)	1 000

RESULTATS

Calcul du rendement G	
Volume de matière cylindre (mm3)	1127,046364
Volume meulette (mm3)	115,8462291
Rendement G obtenu	9,728813559
Rendement G théorique	50-250

G obt < G th	G obt = G th	G obt > G th
mauvais	bon	excellent

Etat de surface obtenu

mauvais	moyen	bon	excellent

Tenu de cotes sur la pièce

Ø Prog (mm)	Ø Obtenu (mm)	Ecart (mm)
21	21	0

Ø Cylindre (mm)

inférieur	nominal	supérieur
20,99	21	20,01

Ø obt < Ø por	Ø obt = Ø por	Ø obt > Ø por
mauvais	bon	mauvais

NOTATION

mauvais = 0	moyen = 1	bon = 2	excellent = 3
Note de l'essai	(0 + 1 + 2) / 3 = 1		

Pour obtenir la note de l'essai il faut faire la moyenne des notes obtenues et arrondir à l'unité inférieure

ANNEXE 7

Fiche de suivi des essais

d'usinage de filières



FICHE DE SUIVI DES ESSAIS FILIERES

DONNEES DE BASE

numéro essais	15
numéro de pièce	6
Type de carbure	K10
Type de filère	SPDF
Diamètre portée brut (mm)	12
Diamètre portée final (mm)	12,8
Tolérance sur le diamètre (mm)	(+/-) 0,005
Longueur de portée (mm)	10
Longueur du cône (mm)	5
Angle du cône (deg)	60
Type de meulette	MD 20 C100 B3
Diamètre initial (mm)	8
Diamètre final (mm)	7,98
Longueur meulette (mm)	10
Périphérique meule (mm.s-1)	30 000
Périphérique pièce (mm.s-1)	400
vitesse de coupe (mm.min-1)	1 100

RESULTATS

Calcul du rendement G

Volume de matière portée (mm3)	155,8229956
Volume de matière cône (mm3)	38,9557489
Volume total (mm3)	194,7787445
Volume meulette (mm3)	2,51013253
Rendement G obtenu	77,59699625
Rendement G théorique	50-250

G obt < G th	G obt = G th	G obt > G th
mauvais	bon	excellent

Etat de surface obtenu

mauvais	moyen	bon	excellent

Tenu de cotes sur la pièce

Ø Prog (mm)	Ø Obtenu (mm)	Ecart (mm)
12,8	12,5	0,3

Ø Porteé (mm)

inférieur	nominal	supérieur
12,795	12,8	12,805

Ø obt < Ø por	Ø obt = Ø por	Ø obt > Ø por
mauvais	bon	mauvais

NOTATION

mauvais = 0	moyen = 1	bon = 2	excellent = 3
Note de l'essai	(2 + 1 + 1) / 3 = 1		

Pour obtenir la note de l'essai il faut faire la moyenne des notes obtenues et arrondir à l'unité inférieure

ANNEXE 8

Les différentes nuances

du carbure de tungstène

Non disponible



ANNEXE 9

Les indices d’étanchéité

à l’eau et à la poussière

Non disponible



ANNEXE 10

Programmation littérale pour les tests

Programme d'usinage d'un cylindre

Programme d'usinage d'une filière



PROGRAMME ESSAIS CYLINDRE

```
% O000X (CYLINDRE)
(23/07/01)
(G.LESQUIR)
(VERSION 1.0)
```

V A R I A B L E S

```
(JAUGE OUTIL MM) #1=
(DEPORT BROCHE MM) #2 =
(DIAMETRE PIECE BRUTE MM) #3 =
(DIAMETRE PIECE FINALE MM) #4 =
(DIAMETRE MEULETTE MM) #5 =
(PERIPHERIQUE MEULETTE MMS-1) #6 =
(PERIPHERIQUE PIECE MMS-1) #7 =
(PRISE DE PASSE MM) #8 =
(TEMPS DE VA  & VIENT S) #9 =
(TEMPS DE PASSE A VIDE S) #10 =
(LONGUEUR DU CONE MM) #11 =
(Z DEBUT DE PROFIL MM ) #12 =
```

C A L C U L S

```
#13 = [ #6 / [3.1416 x #5 ]] x 60      (calcul de la vitesse de rotation broche tr.min-1)
#14 = [ #7 / [3.1416 x #3 ]] x 60      (calcul de la vitesse de rotation mandrin tr.min-1)
#15=                                   (calcul de la vitesse de coupe en mm.min-1)
#16 = #3 x 0.5                         (calcul du rayon de pièce brute en mm)
#17 = #4 x 0.5                         (calcul du rayon de pièce finale en mm)
#18 = #1 +  #2                         (calcul du déport total de broche en mm)
#19 = 0.5 x #11                        (calcul de la mi longueur du cylindre en mm)
```

P R O G R A M M E

```
N10     G94 G90
N20     M55 M05 M51 M09
N30     G28 X0 W0 B0
/N40    S#13 M33
/N50    S#14 M03
/N60    M08
/N70    G04 X5
N80     G00 Z[#12 +10]
N90     G91 G01 Z –[10 + [#11 x 0.5]]
N100    M50 A#19 B0 V#15
N110    X [#16 – [0.5 x #5]]
N120    G04 X#9
N130    G91 G01 X#8
N140    #20 = #20 + #8                 (calcul de la quantité usinée)
```

P
R
O
G
R
A
M
M
E

```
N150    #21 = #17 – [ #16 + #20 ]                (calcul de la quantité restant à usiner )
N160    IF [ #8 LT #21 ] GOTO 130
N170    G01 X#21
N180    G04 X#9
N190    G04 X#10
N200    G90 G01 X0
N210    M51
N220    G28 X0 W0 B0
N230    M55 M51 M05 M09
M02
%
```

PROGRAMME ESSAIS FILIERES

% O000X (ESSAIS FILIERES)
(17-07-2001)
(G. LESQUIR)

VARIABLES

(JAUGE OUTIL MM) #1 =
(DEPORT BROCHE MM) #2 =
(DIAMETRE PIECE BRUTE MM) #3 =
(DIAMETRE PIECE FINALE MM) #4 =
(DIAMETRE MEULETTE MM) #5 =
(PERIPHERIQUE MEULETTE MM S-1) #6 =
(PERIPHERIQUE PIECE MMS-1) #7 =
(PRISE DE PASSE MM) #8 =
(TEMPS DE VA & VIENT S) #9 =
(TEMPS DE PASSE A VIDE S) #10 =
(LONGUEUR DE PORTEE MM) #11 =
(ANGLE CONE ENTREE DEG) #12 =
(LONGUEUR CONE ENTREE MM) #13 =
(Z DEBUT DE PROFIL MM) #14 =
(RETRAIT AVANT USINAGE MM) #15 =
(RATTRAPAGE FLEXION MEULE S) #16 =

CALCULS

#17 = [#6 / [3.1416 x #5]] x 60	(calcul de la vitesse de rotation broche)
#18 = [#7 / [3.1416 x #3]] x 60	(calcul de la vitesse de rotation mandrin)
#19	(calcul de la vitesse de coupe)
#20 = #3 x 0.5	(calcul du rayon de pièce brute)
#21 = #4 x 0.5	(calcul du rayon de pièce finale)
#22 = #1 + #2	(calcul du déport total de broche)
#23 = [#1 + 57.433] x SIN #12	(calcul déplacement pour prise d'angle en X)
#24 = [#1 + 57.433] x COS #12	(calcul déplacement pour prise d'angle en Z)
#25 = [0.5 x #5] x COS #12	(déplacement en Z pour ajustement meule)
#26 = [0.5 x #5] x SIN #12	(déplacement en X pour ajustement meule)
#27 = [#8 / COS #12]	(déplacement pour prise de passe en cône)

P R O G R A M M E

```
N10   G94 G90
N20   M55 M05 M51 M09
N30   G28 X0 W0 B0
/N40  S#17 M33
/N50  S#18 M03
/N60  M08
/N70  G04 X5
N80   GOO Z[#14 + #22]
N90   G91 G01 Z – [#13 + [0.5 x #11]] F#19
N100  M50 A[ 0.5 x #11] B0 V#19
N110  X [#20 – [0.5 x #5] - #15]
N120  G04 X#9
N130  G91 G01 X #8
N140  #28 = #28 + #8                (calcul de la quantité usinée)
N150  G04 X#9
N160  IF [#28 LT [#21 - #20]] GOTO 130
N170  #29 = #28 - #21 - #20         (calcul de la quantité supplémentaire enlevée)
N180  #30 = #15 - #29               (calcul de la quantité restant à usiner)
N190  G01 X#8
N200  G04 X#9
N210  #31 = #31 + #8                (calcul de la quantité enlevée)
N220  #32 = #30 - #31               (calcul de la quantité restant à enlever)
N230  IF [ #32 LT #8] GOTO 190
N240  G01 X#32
N250  G04 X#9
N260  G04 X#10
N270  M51
N280  #28 = 0
N290  #29 = 0
N300  #30 = 0
N310  #31 = 0
N320  #32 = 0
N330  G01 Z [[0.5 x #11] + [0.5 x #13]]
N340  X #23 Z -#24 B -#12
N350  X #26 Z#25
N360  M50 A [0.5 x #13] B0 V#19
N370  X [[0.5 x #3] + [0.5 x #13 x TAN #12 - #15 / COS #12]]
N380  G04 X#9
N390  G01 X#27
N400  #28 = #28 + #8                (calcul de la quantité usinée)
N410  G04 X#9
N420  IF [#28 LT [#21 - #20]] GOTO 390
N430  #29 = #28 - #21 - #20         (calcul de la quantité supplémentaire enlevée)
N440  #30 = #15 - #29               (calcul de la quantité restant à usiner)
N450  G01 X#27
N460  G04 X#9
N470  #31 = #31 + #8                (calcul de la quantité enlevée)
N480  #32 = #30 - #31               (calcul de la quantité restant à enlever)
N490  IF [ #32 LT #8] GOTO 450
N500  #32 = #32 / COS #12           (calcul de la prise de passe)
N510  G01 X#32
N520  G04 X#9
N530  G04 X#10
N540  M51
N550  X -3
N560  G90 G00 Z [ #14 + 100]
N570  G28 X0 W0 B0
N580  M55 M51 M05 M09
M02
  %
```

ANNEXE 11

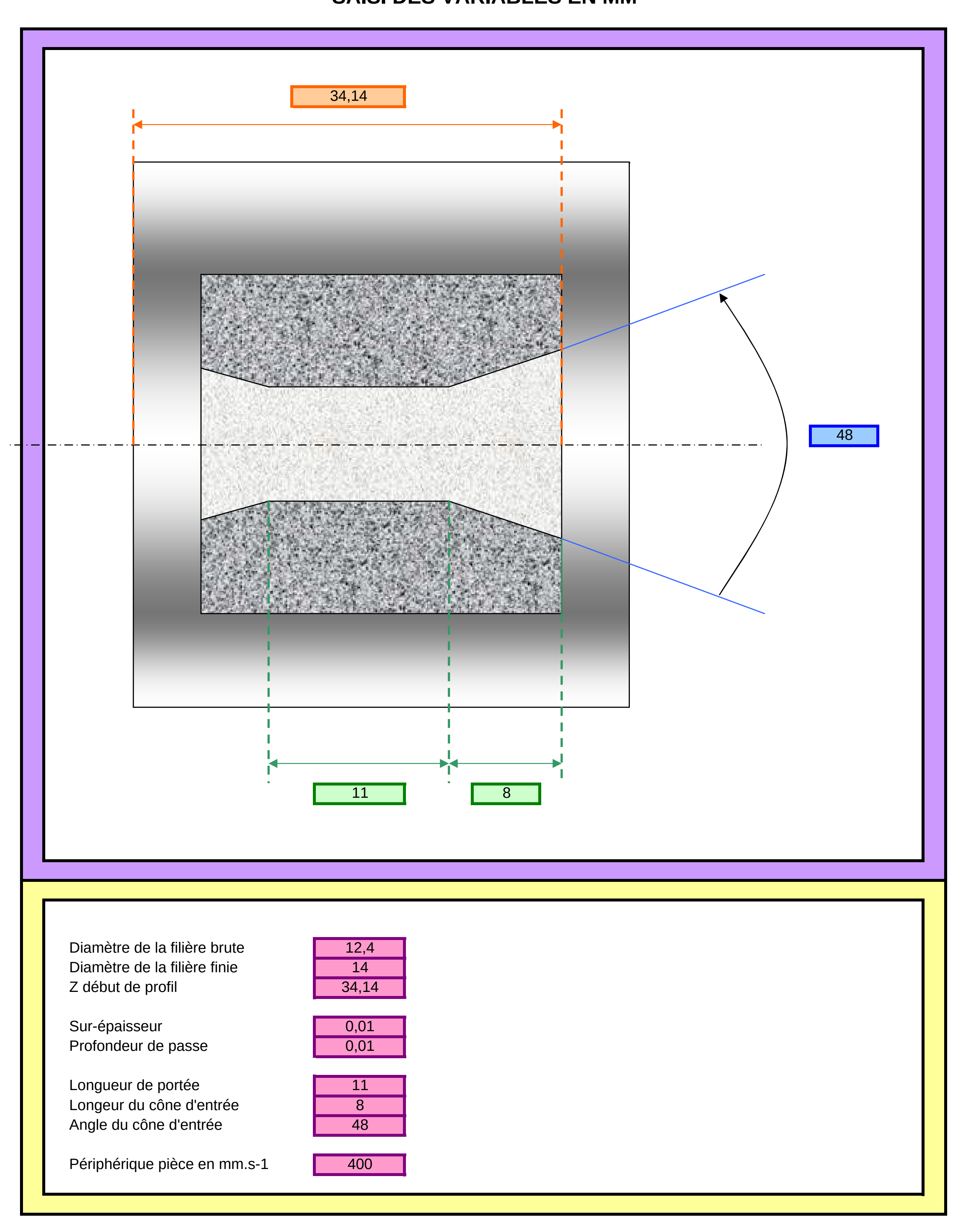
Programmation Excel pour

les tests filières



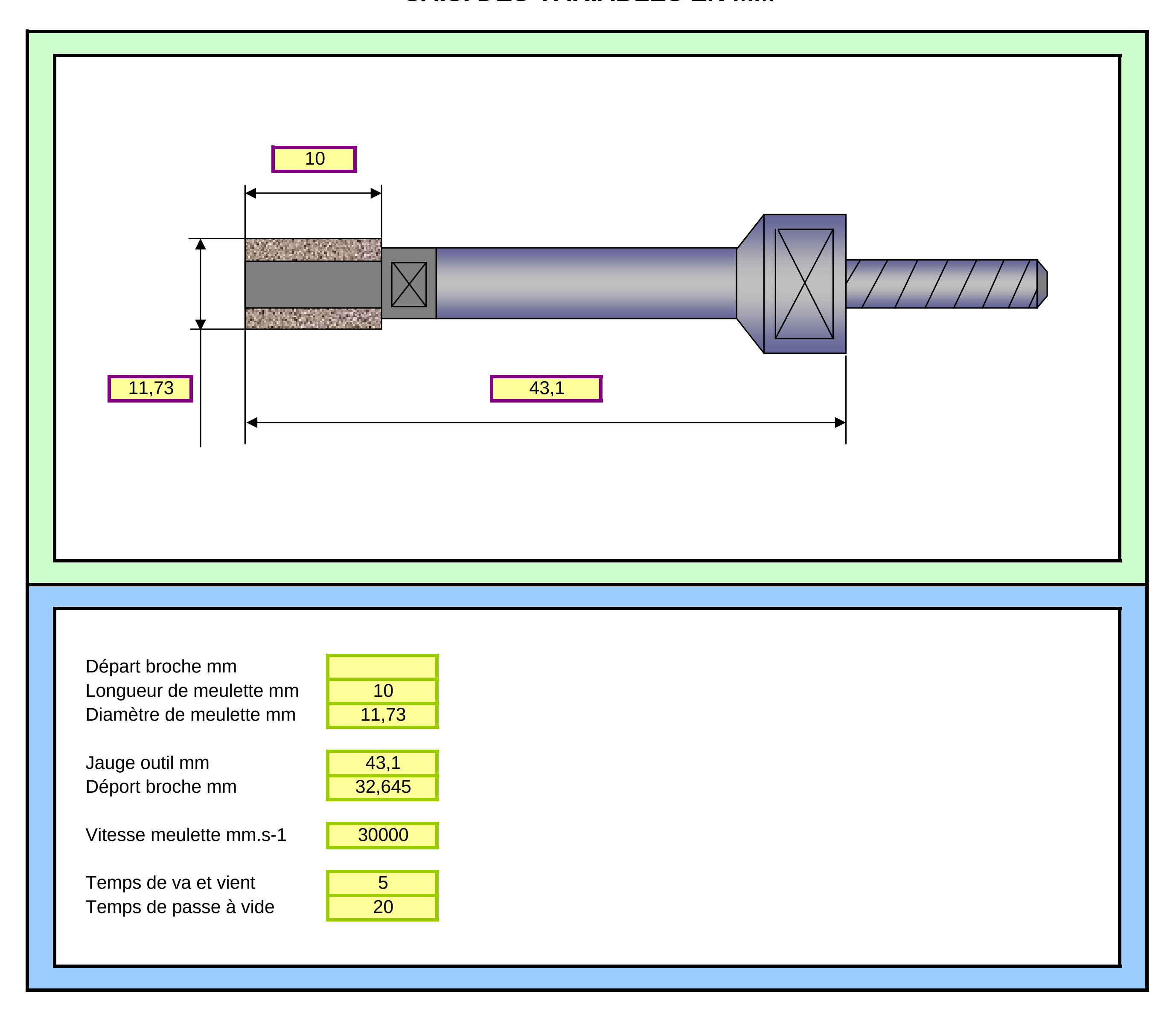
K

SAISI DES VARIABLES EN MM



Diamètre de la filière brute	12,4
Diamètre de la filière finie	14
Z début de profil	34,14
Sur-épaisseur	0,01
Profondeur de passe	0,01
Longueur de portée	11
Longueur du cône d'entrée	8
Angle du cône d'entrée	48
Périphérique pièce en mm.s-1	400

SAISI DES VARIABLES EN MM



VARIABLES

PROGRAMME

Désignation	Valeur	Variables		
Jauge outil (en mm)	43,1	#1		
Déport broche (en mm)	0	#2		
Diamètre pièce brute (en mm)	12,4	#3		
Diamètre pièce finale (en mm)	14	#4		
Diamètre meulette (en mm)	11,73	#5		
Périphérique meulette (en mm s-1)	30000	#6		
Périphérique pièce (en mm s-1)	400	#7		
Prise de passe (en mm)	0,01	#8	=	#1
Temps de va & vient (en s)	5	#9		
Temps de passe à vide (en s)	20	#10		
Longueur de portée (en mm)	11	#11		
Angle du cone d'entrée (en Deg)	45	#12	0,785398163	#2
Longueur du cône d'entrée (en mm)	8	#13		
Z début de profil (en mm)	34,14	#14		
Retrait avant usinage (en mm)	0,01	#15	=	#3
Valeur de jauge pour rotation (en mm)	57,433	#16		

CALCULS

Vitesse de rotation broche (en trmin-1)	48846	#17		
Vitesse de rotation mandrin (en trmin-1)	616	#18		
Vitesse de coupe (en mm min-1)		#19		
Rayon de pièce brute (en mm)	6,2000	#20	=	#4
Rayon de pièce finale (en mm)	7,0000	#21	=	#5
Déport total de la broche (en mm)	43,1000	#22		
Déplacement pour prise d'angle en X (en mm)	71,0876	#23		
Déplacement pour prise d'angle en Z (en mm)	71,0876	#24		
Déplacement en Z pour ajustement meule (en mm)	4,1472	#25		
Déplacement en X pour ajustement meule (en mm)	4,1472	#26		
Déplacement pour prise de passe cône (en mm)	0,0190	#27		

```
        O0001    (ESSAIS FILIERES)
        (17-07-01)
        (G. LESQUIR)

        #1       =        0,01
        #2       =  0,78539816
        #3       =        0,01
        #4       =         6,2
        #5       =           7

N10     G94 G90
N20     M55 M05 M51 M09
N30     G28      X           0  W          0  B          0
N40              S       48846    M33
N50              S         616    M03
N60     M08
N70     G04      X           5
N80     G00      Z       77,24
N90     G91 G01  Z       -13,5  F          0
N100    M50      A         5,5  B          0  V          0
N110             X       0,325
N120    G04      X           5
N130    G91 G01  X        0,01
N140    #6 = #6 + #1
N150    G04      X           5
N160       IF [#6 LT       0,8 ]  GOTO 130
N170    #7 = #6 - #5 - #4
N180    #8= #3 - #7
N190    G01      X        0,01
N200    G04      X           5
N210    #9 = #9 + #1
N220    #10 = #8 - #9
N230      IF [#10 LT      0,01 ]  GOTO 190
N240    G01      X         #10
N250    G04      X           5
N260    G04      X          20
N270    M51
N280    #6 = 0
N290    #7 = 0
N300    #8 = 0
N310    #9 = 0
N320    #10 = 0
N330    G01      Z         9,5  F          0
N340             X   71,087566  Z  -71,0876   B        -45
N350             X  4,14718127  Z  4,147181
N360    M50      A           4  B          0  V          0
N370    G01      X  10,1858579  F          0
N380    G04      X           5
N390    G01      X  0,01903594
N400    #6 = #6 + #1
N410    G04      X           5
N420       IF[#6 LT          7 ]  GOTO 390
N430    #7 = #6 - #5 - #4
N440    #8 = #3 - #7
N450    G01      X  0,01903594
N460    G04      X           5
N470    #9 = #9 + #1
N480    #10 = #8 - #9
N490      IF [#10 LT      0,01 ]  GOTO 450
N500    #10 = #10 / COS #2
N510    G01      X  #10
N520    G04      X           5
N530    G04      X          20
N540    M51
N550    G01      X          -3
N560    G90 G00  Z      134,14
N570    G28      X           0  W          0  B          0
N580    M55 M05 M51 M09
M02
%
```

LANCER LE PROGRAMME

ANNEXE 12

Présentation d'une

broche Haute Fréquence



MF

Broches haute fréquence à changement d'outil manuel

- pour la rectification cylindrique extérieure
  et intérieure sur des machines-outils
- Paliers conçus pour les plus hautes vitesses
- puissance élevée sur une large plage de vitesses
- comportement thermique optimal
- excellente régularité de marche







Broche haute fréquence montée sur le prototype MI 4CNC 100 (Puissance 2kw)

Vitesse de rotation max : 120 000 trs.min^{-1}

Connectée à un convertisseur de fréquence

Les paliers de guidage sont refroidis à l’eau

ANNEXE 13

Présentation des axes du prototype



Laissez ouverte cette annexe afin de faciliter la lecture du rapport.

AXE B

AXE A

AXE X

AXE Z

Croquis des axes de la machine

